



Traitement neurocognitif des émotions au cours du vieillissement : étude de l’"effet de positivité" et ses conséquences

Nicolas Mathieu

► To cite this version:

Nicolas Mathieu. Traitement neurocognitif des émotions au cours du vieillissement : étude de l’"effet de positivité" et ses conséquences. Médecine humaine et pathologie. Université de Grenoble, 2013. Français. NNT : 2013GRENS031 . tel-01175928

HAL Id: tel-01175928

<https://theses.hal.science/tel-01175928>

Submitted on 13 Jul 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Sciences cognitives, Psychologie et NeuroCognition**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Nicolas MATHIEU

Thèse dirigée par **Aurélié CAMPAGNE**, **Stéphane BONNET** et
Edouard GENTAZ

Préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et
NeuroCognition – CNRS UMR 5105**

Dans l'**École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et
l'Environnement**

TRAITEMENT NEUROCOGNITIF DES ÉMOTIONS AU COURS DU VIEILLISSEMENT: ÉTUDE DE L' « EFFET DE POSITIVITÉ » ET SES CONSÉQUENCES

Évaluations comportementales et
électroencéphalographiques

Thèse soutenue publiquement le **9 décembre 2013**,
devant le jury composé de :

Nathalie George

CR1, CNRS – Université Pierre et Marie Curie, Paris – *Rapporteur*

David Sander

PU – Université de Genève – *Rapporteur*

Jean-Philippe Lachaux

DR2, INSERM, Université de Lyon 1 – *Président*

Edouard Gentaz

PU – Université de Genève – *Directeur de thèse*

Aurélié Campagne

MCU, CNRS – Université de Grenoble – *Directeur de thèse*

Stéphane Bonnet

Chercheur Ingénieur, CEA-Leti — *Directeur de thèse*



THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Sciences cognitives, Psychologie et NeuroCognition**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Nicolas MATHIEU

Thèse dirigée par **Aurélien CAMPAGNE, Stéphane BONNET et Edouard GENTAZ**

Préparée au sein du **Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition – CNRS UMR 5105**

Dans l'École Doctorale Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement

TRAITEMENT NEUROCOGNITIF DES ÉMOTIONS AU COURS DU VIEILLISSEMENT: ÉTUDE DE L' « EFFET DE POSITIVITÉ » ET SES CONSÉQUENCES

Évaluations comportementales et électroencéphalographiques

devant le jury composé de :

Nathalie George

CR1, CNRS – Université Pierre et Marie Curie, Paris – *Rapporteur*

David Sander

PU – Université de Genève – *Rapporteur*

Jean-Philippe Lachaux

DR2, INSERM, Université de Lyon 1 – *Examineur*

Edouard Gentaz

PU – Université de Genève – *Directeur de thèse*

Aurélien Campagne

MCU, CNRS – Université de Grenoble – *Directeur de thèse*

Stéphane Bonnet

Chercheur Ingénieur, CEA-Leti — *Directeur de thèse*



Remerciements

« La Sagesse commence dans l'émerveillement »

Socrates

Lorsque j'ai découvert cette citation pour la première fois, celle-ci me parla immédiatement. Elle était inscrite sur un travail de groupe de M1 dans lequel mon poster était cité... Ma première citation !!! Mais ce n'est pas pour cette raison que je l'ai retenue. Cette citation faisait un écho direct à ce « fameux » projet de recherche concernant l'émergence des « effets de positivité » survenant avec l'âge. Projet sur lequel j'ai travaillé des heures, des jours, parfois des nuits, des années. D'ailleurs notre projet de recherche me laisse à penser que le contraire de cette citation est tout à fait possible aussi : « l'émerveillement commence avec la sagesse » cette dernière venant avec l'âge.

Vous avez bien lu « notre projet », il n'y a pas d'erreur.

Sans l'aide de nombreuses personnes, qui se refuseront de dire que c'est aussi leur projet, celui-ci n'aurait jamais pu vieillir correctement et dans la bonne humeur.

Merci aux membres du jury pour avoir évalué ce travail de thèse en y donnant le point final.

Merci pour votre soutien Nayla et Dominique, membres du CEA, à l'origine de cette thèse dont le sujet m'a été confié et de la collaboration CEA-LPNC. Merci Nayla pour votre justesse d'esprit et votre franc-parler qui ont permis de lever certaines inquiétudes quant au projet ainsi que de le (re)cadrer quand nécessaire.

Merci à vous Régis qui malgré le fait que vous n'étiez pas dans la liste des directeurs de thèse vous l'étiez un peu tout comme. Merci pour vous être impliqué dans ce projet, d'en avoir pris une partie des responsabilités et pour vos retours/ remarques lors de nos réunions et entrevues qui m'ont permis d'aller toujours plus loin dans le projet.

En parlant de directeur un remerciement spécial doit être donné à vous, Edouard, qui avez pris la direction de cette thèse en cours de route et qui, s'en bousculer ce qui était déjà construit, avez petit à petit trouvé votre place. Merci pour vos conseils avisés, votre vision stratégique et pour votre sens du positivisme. Le moindre détail qui peut permettre de rendre les choses plus belles ne vous échappe pas.

A priori prendre le train en route ne t'a pas posé non plus de soucis Stéphane, enfin, je ne crois pas puisque notre collaboration a été productive. On a quand même réussi à atteindre le Saint Graal des 100% de bonnes classif⁷ pour certains sujets. J'avoue que je cherche encore où il y a un biais (pour le lecteur voulant chercher aussi il faut lire à partir de la page 138) mais je ne vois pas. Peut-être que je n'ai pas été assez attentif à tes cours particuliers de maths appliqués et de BCI, en tout cas ça ne vient pas de toi, encore moins de ta patience, de ta grande pédagogie ou de ton professionnalisme. Mes amitiés.

Merci à toi Aurélie, directrice depuis le M2, pour m'avoir accordé ta confiance dès la première fois que j'ai franchi la porte de ton bureau, pour m'avoir (sup) porté malgré mes entêtements, mais questions saugrenues, mes explications confuses, mes « à-peu-près ». Merci aussi d'avoir rassasié ma soif d'apprendre, d'avoir cru en moi jusqu'au bout, de m'avoir

donné les clés de l'EEG (je parle ici des clefs du labo 6 ;) mais pas seulement) et tout en gardant un grand professionnalisme de m'avoir accordé une certaine amitié qui est réciproque.

Travaillé sur les personnes âgées n'était pas anodin pour moi, les personnes âgées m'ont toujours émerveillé par la sagesse qui se dégage de leur attitude. Durant mon travail je n'ai jamais été déçu par celles-ci. Je remercie tous les participants âgés d'avoir offert de leur temps pour participer aux diverses expériences mais aussi pour leur grande sympathie et humanité qui me faisait souvent oublier, que j'étais au CHU en train de coller un casque EEG pour acquérir des données électrique tout en priant les dieux de la statistique pour que les données collent à au moins la moitié des hypothèses. Bien évidemment, ce serait que mentir de dire n'avoir pas vécu la même chose avec les participants plus jeunes. Merci donc à tous les participants.

Merci aux familles LPNC et CEA-LETI qui ont elles aussi participé en m'accueillant à bras ouverts. Une dédicace spéciale aux (ex)doctorants et amis de ces deux labos en particulier Anne H2B (doyenne des doctorants), Fleur, Anne T, Ben M, Louise (Bout-en-train) , Fabrice (Fab' pour les intimes), Mélanie allocentrée (non mais allo quoi !), Weng-Weng egocentrée, Pauline, , Sabine (l'artiste), Solène (l'alchimiste), Nico (le superhéros avec toute sa puissance statistique), Lucie, MP, Stéphane ², Lyuba, Naïla, Brice, Fanny, Lysianne, Laurie, Corentin, Noémylle, Remy, Abbas, Pascal.

Merci Marcela (qui rime avec chocolat) la valeur sûre du LPNC mais aussi à l'extérieur pour ta profonde amitié.

Merci aussi à toi, Sylvain, pour ton coup de seringue efficace même très tôt le matin, ta bonne humeur surtout en présence de l'homme qui agite son gros bâton. Avec toi on bosse bien mais on mange bien, on rigole bien et on fait bien la fête. R+

En écrivant ces lignes j'ai aussi une pensée pour toi Ben, le co-thésard, co-llègue, colocataire et aussi co-pain. Avec tous ces « co » on a fait un sacré bout de chemin ensemble, désolé de t'avoir laissé sur la fin mais je suis sûr que tu vas me rattraper pour ensuite prendre une autre route qui te sera meilleur. Bonne continuation. Mes amitiés.

Merci au correcteur automatique d'orthographe Word mais aussi aux correcteurs manuels (*i.e.* les doctorants, Aurélie et la famille).

Ce projet m'a aussi offert l'occasion de rester à proximité de nombreuses personnes rencontrées lors de mon arrivée à Grenoble et durant mes premières années de thèse avec qui on parle boulot, mais aussi mariage, bébé, de la vie quoi. Merci donc pour votre soutien Hélène, Jonas, Christophe, Raphaëlle. Je remercie aussi ma famille qui habite par-delà le col-qui-pleut-tout-le-temps (col de la croix-haute) dans laquelle on est reçu mieux qu'à l'hôtel et en plus on s'y marre bien.

Malheureusement, ce projet m'a aussi écarté de certaines personnes pour qui la question du soutien n'est plus à se poser. Pour leur soutien inconditionnel, je remercie mes deux amis d'enfance, Raphaël et Gautier, ma famille natale, mes parents, Bibiche et Pia, mes grands-parents (qui ont, pour ce qu'ils représentent pour moi, suscité une attirance pour ce sujet de thèse) ; ma deuxième famille « natale », les KKK.

Je remercie ma fille, Loïse, pour l'émerveillement qu'elle m'apporte tous les jours. Ici rien à voir avec de la sagesse, juste de l'amour, simple et pur, tout comme celui de, Yanica, alias « Kelly » qui m'accompagneront, je l'espère, dans tous mes projets.

Résumé

Dans le vieillissement « sain », la préférence pour les stimuli positifs augmente par rapport aux stimuli négatifs. Ce phénomène est appelé « effet de positivité » et peut être observé au niveau comportemental et cérébral. L'objectif principal de cette thèse a été de caractériser les effets de l'âge sur les traitements émotionnels afin d'améliorer notre compréhension des effets de positivité. L'objectif sous-jacent a été d'évaluer dans quelles conditions ces effets peuvent conduire à une plus grande vulnérabilité des personnes âgées face à des situations menaçantes. Une première étude en électroencéphalographie a révélé que l'engagement attentionnel pour des scènes naturelles négatives diminue avec l'âge quel que soit leur niveau d'activation dans une tâche de catégorisation affective. À l'inverse, ce dernier reste inchangé pour les situations positives, conduisant à une réduction des biais de négativité. Une deuxième étude en électroencéphalographie, dont le paradigme était similaire à la première étude, a mis en évidence que les biais de négativité restent préservés avec l'âge lorsque l'évaluation des scènes s'effectue sur la dimension de « tendance à l'action ». Une troisième étude révèle que l'attention volontaire sur les situations d'intérêt des personnes âgées (positives) et sur les processus d'évaluation modulés par l'âge est nécessaire à l'émergence des effets de positivité. Parallèlement à ces travaux, une méthodologie innovante est proposée pour la classification d'états émotionnels des personnes jeunes et âgées sur la base de leurs signaux électroencéphalographiques. Nous avons obtenu des résultats encourageants qui suggèrent la possibilité cette méthode pour implémenter des interfaces cerveau-machine pour protéger les personnes âgées d'une éventuelle vulnérabilité en raison des effets de positivité. L'ensemble de ces travaux suggèrent que les effets de positivité sont les conséquences de changements sur le plan motivationnel de l'individu âgé, touchant principalement les processus d'évaluation émotionnel. La personne âgée régulerait ses émotions et diminuerait l'impact des émotions négatives lorsque d'autres motivations plus prioritaires sont absentes.

Mots clés : Vieillesse, émotion, effet de positivité, attention, EEG, classification

Abstract

With aging, the preference for positive stimuli increases compared to negative stimuli. This is called “positivity effect” and it may be observed in both behavior and brain activity. The main goal of this work was to characterized age effects on emotional processing to improve our understood of this positivity effect. The second goal was to evaluate in which conditions these effects could make older people more vulnerable when they are confronted to threatening situations. A first EEG study revealed that the attentional engagement decreased with age for negative stimuli, regardless of their activation level, in an affective categorization task. Conversely, the processing of positive stimuli was preserved with age and, consequently, a reduction of the negativity bias was observed. In a second EEG study, using a similar paradigm to study 1 with the exception of the task which was an “action tendency task”, we observed a preservation of the negativity bias. A third study revealed that the voluntary attention on interest situations for aged adults (positive) and on appraisal process modulated with age was requisite to observe positivity effects. Parallel to this work, a new method was proposed to recognize and classify emotional states based on EEG signals. We obtained encouraging results which suggest the possibility to use this method to elaborate brain-computer interfaces to protect old people against a potential vulnerability due to positivity effect. Taken together, these results demonstrate that positivity effect is due to motivational shifts with age. Older people would be motivated to increase their well-being and would regulate their emotions by reducing the impact of negative stimuli, provided no other more important motivations are absent.

Keywords: Aging, emotion, positivity effect, attention, EEG, emotion recognition

Financements et Collaborations

Ce projet de thèse a été financé par le CEA-Leti à Grenoble, dans le cadre de Nano2012 et a bénéficié du soutien du CNRS et de l'Université Pierre-Mendès France (UPMF). Le travail a été mené entre plusieurs structures de recherches et technique de Grenoble: le Laboratoire de Psychologie et Neurocognition (LPNC), le département d'exploration du système nerveux fonctionnel (EFSN) du CHU de Grenoble, la plateforme collaborative de recherche d'IRMage, la plateforme collaborative de recherche Minatec-Ideas Lab et le Département des microTechnologies pour le Biologie et la Santé (DTBS) du CEA-Leti de Grenoble.

Table des matières

Résumé	i
Financement et Collaborations	ii
Table des matières	iii
Glossaire	viii
 Introduction	 1
 Section Théorique	 5
 Chapitre I - Le vieillissement cérébral	 6
Préambule	6
1. Le vieillissement « sain »	6
2. Le déclin cognitif	7
3. Une dégénérescence inégale des aires frontales : une capacité de régulation émotionnelle préservée ?	8
Résumé	10
 Chapitre II - Les émotions	 11
Préambule	11
1. Concepts et définitions autour des émotions	11
2. Théories des émotions	14
2.1. Modèle des « processus composants »	14
2.2. Motivation et théories émotionnelles des « tendances à l'action »	18
2.3. Les modèles de différenciation de l'émotion	20
3. Les corrélats neuronaux	23
3.1. L'amygdale	25
3.2. L'hippocampe	26
3.3. Le cortex préfrontal	26
3.4. Cortex cingulaire antérieur	29
3.5. L'insula	29
4. Emotion et attention	30
4.1. Attention motivée : influence de la nature intrinsèque du stimulus sur les traitements	30
4.2. Modulations induites par le contexte motivationnelle	35
4.3. Modulations volontaires dans les traitements émotionnels : la régulation émotionnelle	36
4.4. Modèle attentionnel de traitement de l'information émotionnelle	38
Résumé	43

Chapitre III - Vieillessement et traitements émotionnels : « effets de positivité ».....	45
Préambule	45
1. Historique de l'étude des émotions dans le vieillissement sain.....	45
2. Les modulations relatives aux traitements émotionnels en psychologie expérimentale ..	47
2.1. Les études sur la mémoire émotionnelle.....	47
2.2. Les études sur les biais attentionnels	51
2.3. La prise de décision	55
2.4. Conclusion des études comportementales et « effet de positivité ».....	56
3. Base neurale et neurophysiologique des effets de positivité	57
Résumé	66
Chapitre IV - Modèles émotionnels appliqués au vieillissement.....	67
Préambule	67
1. « Aging Brain Model »	67
2. Le modèle dit du « contrôle cognitif »	68
2.1. Présentation générale	68
2.2. De la théorie motivationnelle de sélectivité socio-émotionnelle au bien-être.	69
2.3. Efficacité des capacités de régulation émotionnelle dans le vieillissement.....	71
2.4. Les modèles cognition-émotion alternatifs SAVI et DIT	78
Résumé	80
Chapitre V- Les modérateurs des effets de positivité	81
Préambule	81
1. Modérateurs relatifs aux caractéristiques émotionnelles des stimuli	81
1.1. Effet du niveau d'activation émotionnelle des stimuli.....	81
1.2. Effet de la pertinence motivationnelle des stimuli.....	86
2. Effets modulateurs liés au contexte	88
2.1. Le contexte émotionnel : état affectif du participant, présence d'autres stimuli émotionnels	88
2.2. Le contexte cognitif : influence des capacités et motivations de l'individu et des buts de la tâche	90
Résumé	96
Chapitre VI - Les Interfaces Cerveau-Machine émotionnelles.....	97
Préambule	97
1. Présentation générale des Interfaces Cerveaux Machines	98
2. Exemple d'applications	99
2.1. ICM actives	99

2.2.ICM passives.....	100
3.Principes de fonctionnement	101
3.1.Traitement du signal : prétraitement et extraction des caractéristiques	104
3.2.La classification	106
4. Reconnaissance automatique des émotions : état de l’art.....	110
Résumé	113
Synthèse théorique et objectifs expérimentaux des études.....	114
<i>Section expérimentale</i>	118
Chapitre VII – Effets de positivité, niveau d’activation et contexte affectif.....	119
<i>Etude 1 - Processus cérébraux relatifs au traitement de scènes naturelles émotionnelles avec l’âge : effets du niveau d’activation et du contexte affectif.....</i>	<i>119</i>
1. Objectifs et hypothèses opérationnelles	119
2. Méthode	121
2.1. Participants.....	121
2.2. Stimuli.....	121
2.3. Protocole expérimental	123
2.4. Acquisition, traitement et analyses des données	125
3. Résultats.....	128
3.1. Taux de réponses correctes (% réponses congruentes).....	128
3.2. Jugement subjectif du niveau d’activation des stimuli	128
3.3. Analyse de l’amplitude de la LPP	129
4. Discussion.....	132
5. Conclusion	138
Chapitre VIII - Détection d’états émotionnels et classification de signaux neuronaux. 139	139
<i>Etude 2 – Classification essai par essai de potentiels évoqués relatifs aux processus émotionnels.....</i>	<i>139</i>
1. Objectifs et hypothèses	139
2. Méthodologie	141
2.1.Protocole expérimental	141
2.2. Enregistrement des données	141
2.3 Chaîne de traitement	142
3. Résultats.....	145
3.1. Extraction des caractéristiques.....	145
3.2 Résultats de classification	150
4. Discussion.....	153
5. Conclusion	155

Chapitre IX - Effets de positivité et contexte motivationnel	156
<i>Etude 3 - Effets de positivité au cours du vieillissement « sain » dans une tâche de tendance à l'action.</i>	<i>156</i>
1. Objectifs et hypothèses	156
2. Méthodologie	158
2.1. Participants	158
2.2. Stimuli	158
2.3. Protocole expérimental	159
2.4. Acquisition, traitement et analyse des données	161
3. Résultats	164
3.1. Taux de réponses correctes	164
3.2. Evaluation de la « tendance à l'action »	164
3.3. Analyse de l'amplitude de la LPP	165
4. Discussion	167
5. Conclusion	173
 Chapitre X - Effets de positivité, orientation attentionnelle et conflit émotionnel.....	174
<i>Etude 4 - Les effets de positivité chez les personnes âgées en situation de conflit émotionnel : modulation de l'attractivité et de la distraction des stimuli selon leurs valences.</i>	<i>174</i>
1. Objectifs et hypothèses	174
2. Expérience comportementale	176
2.1. Méthodologie	176
2.2. Résultats	182
2.3. Discussion	185
3. Expérience en EEG	188
3.1. Méthodologie	188
3.2. Acquisition traitement et Analyse des données	190
3.3. Résultats	195
3.4. Discussion	198
5. Conclusion	200
 Discussion Générale	201
 Discussion générale et perspectives.....	202
1. Modulation dans les traitements émotionnels avec l'âge	203
1.1. Principaux résultats des études	203
1.2. Les modèles de vieillissement émotionnels au regard de nos résultats	207

1.3. Le vieillissement dans les théories générales des émotions : nouveau point de vue sur l'évolution des traitements émotionnels	210
2. Implication et apport de nos travaux à la vie quotidienne	215
2.1. Une vulnérabilité des personnes âgées dans les traitements émotionnels existe-elle ?	215
2.2. Des ICMs pour prévenir d'un danger mais pas seulement	217
3. Limites et perspectives	218
Conclusion	221
Références bibliographiques	222
Liste des figures	248
Liste des tableaux	250
ANNEXE	251
ANNEXE A - Article 1	252
ANNEXE B – Article 2	266
ANNEXE C - Tests Neuropsychologiques	271
Annexe C – 1 :MMSE (Mini Mental State Examination)	271
Annexe C – 2: Wisconsin Card Sorting Test : Test d'association de cartes	274
Annexe C – 3 : Questionnaire Abrégé de Beck	277
ANNEXE D - Echantillon d'images utilisées lors des expériences	279
ANNEXE E – Pré-test comportemental	280
ANNEXE F - Position des électrodes sur le scalp pour un casque Acticap	282
ANNEXE G - Tableau des taux de classifications pour les 5 conditions binaires en fonction du nombre d'électrodes virtuelles pour chaque sujet	283
ANNEXE H - Tableau des taux de classifications de chaque sujet pour les 5 conditions en fonction des plages temporelles.....	285
CURRICULUM VITAE.....	389

Les encadrés « saumon » sont des résumés/conclusions mais peuvent aussi être considérés comme des lectures autonomes.

Glossaire

CCA	Cortex Cingulaire Antérieur
COF	Cortex Orbitofrontal
CPFDL	Cortex Prefrontal Dorso-Latéral
CPFDM	Cortex Prefrontal Dorso-Médian
CPFM	Cortex Prefrontal Médian
CPFVL	Cortex Prefrontal Ventro-Latéral
CPFVM	Cortex Prefrontal Ventro-Médian
DCM	Dynamic Causal Modeling
DIT	Dynamic Integration Theory
EEG	Electroencéphalographie
ERP	Event Related Potential
FLDA	Fischer Linear Discriminant Analysis
FTP	Future Time Perspective
IAPS	International Affective Picture System
IRMf	Imagerie par Résonnance Magnétique fonctionnelle
LPP	Potentiel positif tardif, de l'anglais "Late Positive Potential"
MMSE	Mini Mental State Examination
PASA	Posterior Anterior Shift in Aging
SAM	Self-assessment manikin Test (Bradley and Lang, 1994)
SAVI	Strenght And Vulnerability integration
TSS	Théorie de la Sélectivité Socio-émotionnelle
WCST	Wisconsin Card Sorting Test

Introduction

La population mondiale vieillit. Selon un rapport de l'OCDE publié en 2002 (Mobilit, 2002), la population de plus de 65 ans représentait, dans l'année 2000, 13% de la population des pays membres et devrait atteindre, 21.2% en 2030 selon les estimations. La société est confrontée à la nécessité de s'adapter à cette mutation démographique et doit proposer des solutions pour compenser les effets du vieillissement. La santé à la fois physique et mentale se dégrade avec l'âge. Le cerveau n'est malheureusement pas épargné par les effets du temps même en l'absence de pathologies associées au vieillissement. Petit à petit, l'autonomie des individus âgés décline. Toutefois, vieillir peut aussi avoir des aspects positifs notamment dans le domaine émotionnel. L'humeur devient plus positive avec l'âge et les individus âgés rapportent ressentir un plus grand sentiment de bien-être au quotidien que leurs homologues plus jeunes (Mroczek & Kolarz, 1998). Les personnes âgées se laisseraient moins perturber par les événements négatifs du quotidien (Charles & Almeida, 2007), qui deviendraient moins attractifs sur le plan attentionnel avec l'âge (Murphy & Isaacowitz, 2008). Les émotions positives seraient privilégiées par les personnes âgées par rapport aux émotions négatives (Carstensen, 1995; Kennedy, Mather, & Carstensen, 2004; Mather & Carstensen, 2005).

Les personnes âgées seraient-elles donc plus « philosophes » ? Serait-ce une forme de sagesse ? Ou ces effets liés à l'âge, appelés effets de positivité, seraient-ils le reflet d'une altération des traitements émotionnels chez les personnes âgées ?

Cette question des effets du vieillissement sur les traitements émotionnels est importante. En effet, les émotions sont capitales pour notre survie et notre autonomie. Elles servent d'indicateurs et de filtres pour sélectionner les informations importantes dans l'environnement. Elles nous préparent à agir et guident nos comportements. Or, si les traitements émotionnels évoluent avec l'âge et altèrent les capacités de l'individu à détecter et répondre à des événements pertinents pour le maintien de son intégrité, suite à une réorientation attentionnelle, les personnes âgées seraient susceptibles de devenir vulnérables, comme par exemple, dans le cas où une réaction rapide à un événement dangereux est nécessaire. Cette vulnérabilité resterait toutefois relative puisque, selon plusieurs auteurs, les effets de positivité protégeraient la santé mentale de la personne âgée de la dépression notamment (Isaacowitz et al., 2008; Isaacowitz, Toner, et al., 2009; Urry et al., 2009). Par ailleurs, il apparaît que ces effets de positivité ne sont pas systématiques. (Kensinger, 2008;

Knight et al., 2007). Plusieurs raisons sont avancées, mais les conditions d'émergence des effets de positivité restent encore actuellement mal comprises.

Les travaux effectués dans cette thèse ont pour but de caractériser les effets de l'âge sur les traitements émotionnels et d'améliorer leurs compréhensions notamment au niveau des processus cérébraux à travers diverses études en électroencéphalographie. Les objectifs sous-jacents étaient de mieux définir les conditions dans lesquelles les personnes âgées seraient susceptibles d'être plus vulnérables suite à ces modulations dans les traitements émotionnels et de pouvoir proposer des solutions de compensation le cas échéant. Cette recherche a donc un intérêt à la fois théorique et appliqué.

Dans le cadre de notre introduction théorique, après une définition de notre population d'étude d'intérêt dans un premier chapitre, nous présenterons dans un second chapitre, divers points de vue sur le concept d'« émotion » et les différents modèles théoriques généraux actuels associés. Les bases neurales et physiologiques sous-tendant les processus émotionnels et leur régulation seront ensuite détaillées. Une revue de littérature concernant les traitements émotionnels chez les jeunes adultes sera ensuite conduite afin d'explicitier chez cette catégorie d'âge, l'influence i) des propriétés intrinsèques des stimuli émotionnels et ii) des motivations endogènes de l'individu (buts, besoins, plans,...) et du contexte de tâche dans le processus d'évaluation émotionnelle. Un accent sera mis sur les processus attentionnels. Un troisième chapitre exposera ensuite les différentes études illustrant des effets de positivité avec l'âge dans le cadre de la mémoire émotionnelle, l'attention et la prise de décision. Le chapitre IV, quant à lui, détaillera les différents modèles de vieillissement émotionnels proposés actuellement par certains auteurs pour rendre compte de ces effets de positivité. La théorie de Sélectivité Socio-Emotionnelle (TSS) apparaissant comme le modèle dominant de la littérature sur les effets de positivité ; elle sera particulièrement approfondie. Dans le chapitre V, une attention sera ensuite portée sur les modérateurs de l'effet de positivité sur lesquels nous nous reposerons en partie pour ce travail de thèse. Enfin, un dernier chapitre théorique, le chapitre VI, décrira les solutions algorithmiques existantes permettant d'identifier des marqueurs spécifiques d'un état cognitif tel que l'état émotionnel des personnes âgées en vue d'une implémentation d'une Interface Cerveau Machine (ICM) permettant de compenser en cas de traitement inadéquate de l'environnement suite à l'émergence d'effets de positivité.

Quatre études ont été réalisées dans le cadre de ce travail de thèse. Dans une première étude (**étude 1**, Chapitre VII) réalisée en électroencéphalographie (EEG), nous avons évalué

si l'impact de l'âge sur les processus émotionnels et attentionnels dépend de certaines caractéristiques émotionnelles des situations. Plus précisément, nous nous sommes intéressés aux traitements des situations menaçantes et les influences qu'elles peuvent avoir sur le traitement de situations positives ou non-émotionnelles. En parallèle de cette étude expérimentale, des recherches sur l'identification de marqueurs spécifiques des états émotionnels avec l'âge ont été menées (**étude 2**, Chapitre VIII) en vue d'une implémentation d'une ICM. Dans le cadre de cette recherche, nous avons développé une méthodologie innovante de traitement et de classification des signaux neuronaux que nous avons éprouvée sur les données EEG de l'étude 1. Dans l'**étude 3** (Chapitre IX), avec un paradigme identique à celui de l'étude 1, dans lequel seule la consigne de la tâche a été modifiée, nous avons évalué l'importance du contexte de tâche et des motivations de l'individu associées dans l'émergence des effets de positivité. La dernière étude (**étude 4**, Chapitre X), nous a permis d'évaluer les biais attentionnels avec l'âge dans un paradigme de présentation simultanée de deux stimuli affectifs dont l'un devait être ignoré, l'autre catégorisé. Dans cette étude, nous nous sommes particulièrement intéressés aux situations de conflit émotionnel, opposant une situation positive à une situation négative. Le paradigme utilisé dans cette étude 4 nous a permis de dissocier les effets liés aux contextes de tâches (motivation associée à la tâche) de ceux liées aux propriétés des stimuli émotionnels modulées par l'âge. Deux volets avaient été réalisés dans cette étude 4. D'un côté, les différences dans le traitement des stimuli émotionnels liées à l'âge ont été mesurées au niveau comportemental, de l'autre au niveau cérébral en utilisant la technique EEG. L'ensemble de ces résultats seront discutés dans un dernier chapitre au regard des différents modèles de vieillissement émotionnel, puis au regard des modèles théoriques plus généraux des émotions. Suite à cette remise en perspective des résultats, un début de réponse sur la vulnérabilité des personnes âgées liée aux modulations avec l'âge dans les traitements émotionnels sera proposé. Dans ce cadre-là, une ouverture de nos travaux sur la détection et la reconnaissance des émotions par une ICM sera présentée. A partir des limites de ce travail de thèse, des pistes pour de nouvelles recherches seront proposées.

Section Théorique

Chapitre I - Le vieillissement cérébral

Préambule

Actuellement les sociétés, en particulier des pays industrialisés, sont confrontées à une nécessité de s'adapter au vieillissement croissant de leur population. Ce vieillissement peut toutefois présenter un avantage comme un désavantage. En effet, « Vieillir » peut-être synonyme de sagesse mais parfois « Vieillir » peut renvoyer à une tout autre réalité: déclin physique, sénilité, problème de santé, isolement social, etc. Les individus ne sont pas tous égaux face au vieillissement. Il existe une grande variabilité de forme de vieillissement. Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés au vieillissement « sain » ou « normal ». Comme nous le verrons dans ce chapitre, au niveau cognitif, même pour ce type de vieillissement, un certain déclin subsiste à tous les niveaux, ou presque.

1. Le vieillissement « sain »

L'allongement de l'espérance de vie ainsi que la diminution des taux de natalité dans la plupart des pays du monde ont pour conséquence un vieillissement de la population mondiale. Ce phénomène est d'autant plus grand dans les pays industrialisés. Selon un rapport de l'OCDE publié en 2002 (Mobilit, 2002), la population de plus de 65 ans représentait, dans l'année 2000, 13% de la population des pays membres¹ et devrait atteindre, selon les prévisions, 21.2% en 2030 et 25% à l'horizon 2050. En France, selon un rapport de l'INSEE publié en 2013, la part des plus de 60 ans devrait atteindre 31% en 2030 et celle des plus de 75 ans 13.6%, contre respectivement 23% et 9% actuellement.

Le mot « vieillissement » est souvent synonyme de déclin sur le plan physique mais aussi cognitif. Heureusement, pour la grande majorité des personnes, le déclin cognitif est léger et n'entrave pas leur autonomie. Une grande partie de la population ne développera pas de troubles cognitifs importants. Il est estimé, en effet, que seul 5 à 10% de la population de plus de 65 ans serait touché par des troubles cognitifs importants associés à une pathologie neuro-

¹ Pays membres de l'OCDE en 2013: Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Chili, Corée, Danemark, Espagne, Estonie, Etats-Unis, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Israël, Italie, Japon, Luxembourg, Mexique, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République slovaque, République tchèque, Royaume-Uni, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie

dégénérative. Toutefois, cette proportion augmente avec l'âge et se situerait entre 20 et 40% pour les plus de 85ans (Sadock & Sadock, 2008). La maladie d'Alzheimer est la forme la plus courante puisqu'elle représente plus de 50% des cas de démence sénile.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés à l'évolution des processus affectifs dans le cadre du vieillissement « normal » aussi appelé vieillissement « réussi » ou encore « sain ». Les premiers auteurs ayant donné une définition ainsi que des critères du vieillissement sain sont Rowe & Kahn (1987). Depuis, diverses définitions et plusieurs critères ont été proposés (pour revue voir McLaughlin, Jette, & Connell, 2012). Suivant la définition employée, le pourcentage de personnes ayant un vieillissement « sain » varie beaucoup, passant de 3.3% avec la définition la plus restrictive proposée par Rowe et Kahn (1987) à 35.5% pour une définition plus large. La définition la plus restrictive considère que le vieillissement est sain lorsque les personnes âgées ne présentent aucun troubles cognitifs, ni aucuns problèmes de santé du type maladie chronique même mineure telle que obésité, trouble cardiaque, cholestérol. La définition la plus large, elle, n'inclue pas de critères de sélection quant à ces maladies chroniques.

La définition de vieillissement sain est donc cruciale puisque c'est elle qui définit les critères de sélection des participants recrutés pour les études et définira *in fine* la portée de nos études et la généralisation de celles-ci à la population générale. Dans le cadre de cette thèse, nous avons exclu de nos études, les personnes âgées pouvant présenter une forme de démence sénile et ayant une pathologie neurologique (*e.g.*, sclérose en plaque, ...). Compte tenu de notre sujet de thèse sur les processus émotionnels, les personnes dépressives même légèrement et celles ayant une médication pouvant influencer sur ces processus (*e.g.*, beta-bloquants, neuroleptiques, amphétamines), ont été également exclues. D'après des statistiques réalisées lors des différentes phases de recrutement de nos participants, nous estimons que 50% des personnes âgées de notre population étudiée, allant de 60 à 80 ans, présentent un vieillissement « sain » selon les critères définis ci-dessus.

2. Le déclin cognitif

Même en cas d'absence de pathologie spécifique liée à l'âge, de nombreuses modifications neurobiologiques surviennent avec l'âge : atrophie de la substance blanche et grise, dégénérescences synaptiques, réduction de l'afflux sanguin cérébral et altérations

neurochimiques (Cabeza & Kingstone, 2001; Raz, 2000). Il apparaît que les structures les plus impactées avec le vieillissement sont le cortex préfrontal et l'hippocampe (Raz & Rodrigue, 2006; Raz et al., 2004) mais les structures pariétales et occipitales ne sont pas pour autant épargnées. De ces modifications neurobiologiques, découlent des vitesses réduites de traitements neuronaux de l'information (Salthouse, 1996) avec des répercussions non négligeables sur l'efficacité des processus cognitifs tels que les processus de mémoire de travail et épisodique, d'inhibition, de changement de tâche ou de raisonnement (Kennedy & Raz, 2009). La figure 1 présente les scores de performance pour diverses tâches cognitives calculés sur l'ensemble des travaux de l'équipe de Salthouse (2009).

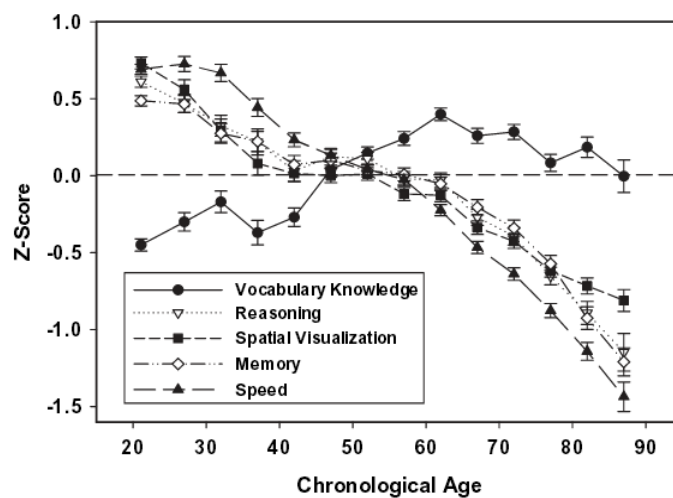


Figure 1: Evolution des performances des participants en fonction de leur âge et en fonction des tâches cognitives demandées. Résultats extraits de l'étude de Salthouse (2009). A l'exception des tests de vocabulaire, les performances des sujets diminuent avec l'âge pour des tests de logique, de visualisation dans l'espace, de mémoire, ou de rapidité.

3. Une dégénérescence inégale des aires frontales : une capacité de régulation émotionnelle préservée ?

Des études post mortem ont montré que les aires préfrontales étaient inégalement impactées par l'âge. En effet, alors que le nombre de neurones, le poids et l'épaisseur corticale du cortex dorso-latéral préfrontal diminuent significativement (Terry, DeTeresa, & Hansen, 1987), le cortex ventro-médian semble être moins impacté avec l'âge en termes de pertes neuronales (Haug et al., 1983).

Ces deux aires proches, interconnectées, diffèrent par leurs connections avec les autres structures cérébrales et par leurs fonctionnalités. Les aires dorso-latérales du cortex préfrontal ont, entre autre, des connections avec les aires sensorielles primaires et motrices que n'ont pas les aires ventro-médianes qui, elles, ont des connections avec le système limbique (Adolphs, Tranel, Bechara, & Damasio, 1996; Rolls, 1996). Les aires dorso-latérales joueraient un rôle primordial dans les fonctions exécutives (Petrides & Milner, 1982; Sarazin et al., 1998) alors que les aires ventro-médianes seraient plutôt associées aux traitements émotionnels et à la régulation du comportement (Rolls, 1996; Sarazin et al., 1998). Sur la base d'une altération inégale de ces aires avec l'âge, Macpherson et collaborateurs (2002) confirment que lors d'un vieillissement sain, les performances sur des tâches faisant appel aux fonctions exécutives diminuent fortement, alors que celles pour des tâches plus émotionnelles, de régulation ou d'adaptation sociale, sont préservées, voir améliorées. Bien que cette étude ne soit pas la seule à rapporter des capacités de régulation émotionnelle accrue avec l'âge (Gross et al., 1997; Kliegel, Jäger, & Phillips, 2007; Scheibe & Blanchard-Fields, 2009), cette étude est une des rares à suggérer que les capacités cognitives de traitement et de régulation émotionnelle sont maintenues a priori avec l'âge, bien que la plupart des grandes fonctions cognitives diminuent. Ce qui nous amène au cœur du sujet : comment évoluent les traitements émotionnels avec l'âge ? Avant de pouvoir traiter cette question, une définition du concept d'émotion est nécessaire. Comment émerge-t-elle ? Quels impacts a-t-elle sur le comportement des individus ?

Résumé

La population mondiale vieillit. Selon un rapport de l'OCDE les plus de 65ans devraient représenter un peu plus de 20% de la population des pays membres d'ici 2030. Les individus ne sont pas égaux face au vieillissement. Alors que, certains présentent une dégradation rapide de leur santé physique et mentale et développent des pathologies liées à l'âge, d'autres vieillissent « sainement ». Plusieurs auteurs ont proposé divers critères pour définir le vieillissement sain et selon les critères, la proportion des individus de plus de 60 ans sains varie de 3% à plus de 30%. Dans ce travail de thèse, nous avons adopté des critères de sélection davantage fondés sur des aspects de la santé cognitive des individus et que sur des aspects de la santé physique. Cependant, il est à noter que même les personnes ayant un vieillissement « sain » donc sans troubles cognitifs, présentent une altération de pratiquement toutes les fonctions cognitives (*e.g.*, mémoire, raisonnement complexe, visualisation spatiales) et sont moins performantes, suite à une perte neuronal liée à l'âge. Une fonction semble toutefois être préservée avec l'âge à savoir la capacité à réguler ses émotions.

Chapitre II - Les émotions

Préambule

Depuis l'antiquité, de nombreuses philosophes et chercheurs s'interrogent sur ce que sont les « émotions ». Cette question est importante; d'une part pour étudier leur émergence mais surtout de par les conséquences qu'elles peuvent avoir sur notre vie. Elles guident nos comportements, et parfois peuvent nous emmener dans des situations que nous n'aurions pas souhaitées : « *-Je te présente mes excuses, j'ai agi sous le coup de l'émotion* ». Toutefois, dans la grande majorité des cas, les émotions contribuent à notre survie. Elles servent, entre autre, d'indicateurs et de filtres pour nous permettre de trier le flot continu et important d'informations de l'environnement et nous préparent à agir en mobilisant nos ressources cognitives et physiques. Dans ce chapitre, après avoir apporté des précisions sur le concept d' « émotion » en donnant le point de vue de plusieurs théories, dans un deuxième temps, nous nous intéresserons aux structures cérébrales sous tendant le traitement émotionnel ainsi qu'à leurs rôles fonctionnels respectifs. Nous terminerons ce chapitre par une description du lien qui existe entre attention et émotion au niveau comportemental et au niveau des traitements cérébraux et présenterons quelques modèles permettant de rendre compte de cette dynamique au niveau cérébral entre information visuelle émotionnelle et attention de l'individu.

1. Concepts et définitions autour des émotions

Depuis l'antiquité, le concept d'émotion fait débat. Platon (427-358 av J.C.), dissociant le corps et l'âme, considère que les émotions pervertissent la raison, l'empêchent de se développer et entravent le chemin de la sagesse. Selon lui, l'individu subit ses états émotionnels et doit s'en défaire. Aristote (384-324 av JC), quant à lui, considère que les émotions doivent être intégrées à la démarche qui mène à la vérité et à l'accomplissement de soi. Selon lui, l'individu construit ses états émotionnels à partir de ses cadres de référence (croyances) et de ses préférences personnelles (attitudes). Le point commun chez ses deux philosophes est la séparation conceptuelle entre la cognition (la raison) et les émotions ainsi que leur interdépendance. Selon Platon, les émotions influencent négativement la pensée ; pour Aristote, la pensée est responsable des émotions.

Avec son ouvrage « L'expression des émotions chez l'Homme et les Animaux » (1872), Charles Darwin est le pionnier des travaux actuels et contemporains sur l'émotion. Dans le cadre de sa théorie de l'évolution, Charles Darwin précise le rôle fonctionnel de l'émotion et soutient l'idée selon laquelle les émotions seraient essentielles pour la survie de l'individu. Non seulement les émotions permettraient la préparation d'un comportement d'adaptation à l'environnement physique, mais elles seraient également un vecteur de communication et permettraient la régulation des interactions sociales.

Peu de temps après l'ouvrage de Darwin, le psychologue William James, un des pères fondateurs de la psychologie expérimentale, publie un article majeur intitulé « Qu'est-ce qu'une émotion ? » (1884) et propose une définition de l'émotion, à savoir : « l'émotion est le sentiment de changements corporels provoqués par la perception d'un fait excitant ». Cette théorie « périphéraliste » suppose donc que l'émotion provient de variations au niveau du système nerveux périphérique et c'est leur perception consciente par l'individu qui constitue l'« émotion ». Le processus émotionnel se résumerait donc à : un stimulus, des réponses corporelles, la sensation de ces changements périphériques, et finalement l'émotion. Ce point de vue a été très critiqué par les chercheurs du domaine notamment par Cannon et Bard (1927, 1931). Via le modèle animal, en déconnectant les viscères du cerveau, ils ont ainsi montré que les réponses viscérales ne sont pas nécessaires dans l'apparition de réactions émotionnelles. Par ailleurs, les auteurs soulignent que les réponses viscérales sont peu sensibles et ne sont pas spécifiques à un type d'émotion particulier. En effet, une même réponse viscérale peut correspondre à différentes émotions et certaines réponses n'ont rien d'émotionnel (fièvre, maladie) alors que nous sommes capables de différencier divers états émotionnels ne serait-ce qu'au niveau de notre langage. Pour ces auteurs, les réponses physiologiques et l'émotion en tant que ressentie de ces réponses en vue d'une verbalisation (« j'ai peur, je ressens de la colère ») sont deux composantes distinctes. Par conséquent, le concept d'émotion ne peut faire référence uniquement aux réponses périphériques.

Cette opposition entre les auteurs vient, en fait, d'un point de vue philosophique totalement différent sur le lien entre cognition et corps dans l'expérience émotionnelle. En effet, selon James, l'état émotionnel se définit par des modifications d'ordre corporel et c'est leur prise de conscience, qui remise dans le contexte de la situation émotionnelle, nous permet de les interpréter et donne l'« émotion ». Pour Cannon et Bard, l'émotion résulte d'un processus cognitif d'évaluation de la situation qui engendre des modifications corporelles. Dans un cas, il y a primauté des réponses émotionnelles physiologiques et somatiques ; dans

l'autre, une primauté de l'évaluation cognitive. Cette dualité entre le corps et la cognition, ainsi que leur relation de cause à effet, a donné lieu à plusieurs grands courants théoriques sur les émotions.

Certaines théories, telles que celles de Zajonc (1984) mettent l'accent sur une primauté de l'affect sur la cognition. Les réponses émotionnelles pourraient émerger directement sur la base d'informations sensorielles non transformées (rappelant la théorie « périphéraliste » de James). Dans la continuité de ce point de vue, se trouvent les théories des émotions incarnées qui placent le corps au centre du processus émotionnel. En effet, ce courant théorique, suppose que les processus cognitifs et particulièrement ceux de haut niveau, tels que les processus émotionnels, reposent sur une réactivation des états corporels, du système affectif et du système sensori-moteur, vécue lors d'expériences passées (Niedenthal, Winkielman, Mondillon, & Vermeulen, 2009; Niedenthal, 2007). Par exemple, la simple vue d'un serpent viendrait, dès les toutes premières étapes du traitement visuel, réactiver toutes les sensations, états corporels et mentaux correspondant aux précédentes rencontres avec cet animal. Viendrait ensuite un traitement « cognitif » de la situation nous permettant de l'interpréter et de conscientiser notre état émotionnel comme un état de peur.

Les théories de l'évaluation cognitive (« appraisal »), quant à elles, présupposent une primauté de la cognition par rapport à l'affect. Ce concept assez récent, introduit par la psychologue Magda Arnold (1960), suggère que l'émotion résulte d'un processus d'évaluation sur le plan cognitif de l'événement déclencheur, lequel serait basé sur un ensemble de critères qui sont propres à la personne et déterminant quant à sa pertinence ou non pour l'individu. Selon Lazarus (1984), l'individu doit comprendre la relation entre son bien-être et l'environnement pour qu'une émotion puisse être déclenchée. La mise en œuvre de ce processus d'« appraisal » n'est pas supposée comme nécessairement consciente et peut inclure des processus automatiques (Leventhal & Scherer, 1987). Selon ces théories, les réponses physiologiques et motrices font suite à cette évaluation.

La complexité de ce concept d'« émotion » et la diversité de ses formes le rendent donc particulièrement difficile à appréhender. Plutchik (1980) a recensé 28 définitions, proposées dans la littérature psychologique et psychiatrique entre 1884 et 1977, et a souligné l'absence de consensus entre elles. De leur côté, Kleinginna et Kleinginna (1981) ont recensé 92 définitions proposées entre 1971 et 1981, reflétant chacune différents aspects du processus émotionnel. Malgré de nombreuses divergences, la plupart des auteurs contemporains de

l'émotion s'accordent pour dire qu'il faut l'appréhender comme un concept hypothétique qui ne peut être observé directement mais dont on infère l'existence par divers indices. La majorité des psychologues considère que l'émotion est constituée d'une triade de réactions émotionnelles: une composante psychophysiological, une composante comportementale et une composante subjective (Sander & Scherer, 2009).

Il est à noter qu'il faut bien distinguer le concept d'émotion du sentiment émotionnel lesquels sont fréquemment confondus, comme c'est le cas chez James (Sander & Scherer, 2009). Le sentiment représente la partie consciente de l'émotion. Il ne faut pas non plus confondre émotion et humeur. Une humeur est un état affectif de la personne qui s'inscrit dans la durée ; elle est de faible intensité et a des origines floues (Ekman & Davidson, 1994). L'émotion serait donc un phénomène « phasique » alors que l'humeur serait un phénomène « tonique », les deux pouvant être inter-reliés. En effet, une certaine humeur peut faciliter l'apparition d'une émotion et une émotion peut se prolonger sous la forme d'humeur.

2. Théories des émotions

2.1. Modèle des « processus composants »

Dans le cadre du courant théorique dit « multi-componentiel » de l'émotion, Scherer (2009) suggère d'utiliser le terme « émotion » pour désigner un ensemble de variations épisodiques dans plusieurs composantes de l'organisme en réponse à des événements évalués comme importants pour l'organisme. Une des caractéristiques de l'émotion est qu'elle se réfère toujours à un objet qui la déclenche et nous prépare pour des types de comportements adaptatifs particuliers (Sander & Scherer, 2009). Les émotions sont des mécanismes de réponse que nous ne pouvons pas complètement contrôler de manière volontaire mais qui ne suivent pas non plus une séquence de stimulus-réponse de type réflexe. En découplant le stimulus de la réponse, l'émotion permet à l'organisme de « choisir » entre plusieurs réponses possibles.

Scherer propose un modèle dynamique des processus émotionnels s'appuyant sur la théorie « multi-componentielle » appelé modèle des « processus-composantes » (figure 2). Dans ce modèle, l'émotion est considérée comme un construit théorique consistant en cinq processus-composantes: une composante cognitive d'évaluation (« appraisal »), une composante périphérique correspondant aux réponses physiologiques périphériques, une

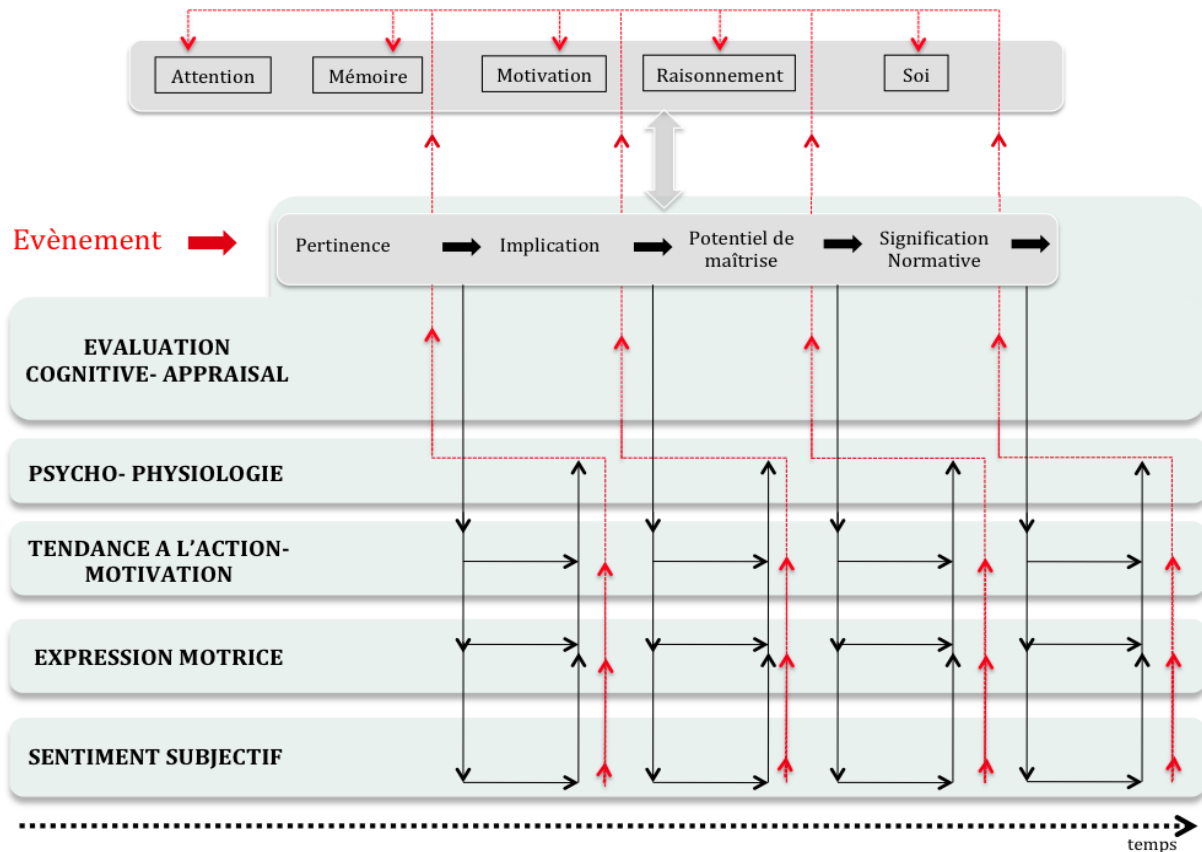


Figure 2: Modèle des processus composants de l'émotion selon Scherer (extrait de Sander & Scherer, 2009). La dynamique temporelle du processus d'évaluation cognitive ou *appraisal* implique une succession de critères d'évaluation de l'évènement (pertinence – implication – potentiel de maîtrise – signification normative). Ces évaluations cognitives influencent ensuite les autres systèmes fonctionnels (cognition, physiologie, motivation, expression motrice et sentiment, flèches noires), qui à leur tour, par rétroaction, peuvent influencer le processus d'évaluation cognitif (flèches rouges). Ses composants interagissent avec d'autres systèmes fonctionnels tels que l'attention, la mémoire, la motivation, le raisonnement, le soi.

composante motivationnelle correspondant à la tendance à l'action, une composante d'expressions motrices et une composante du sentiment subjectif. L'émotion serait la résultante d'une série d'évaluations cognitives (la composante cognitive) réalisées suivant une séquence définie et durant lesquelles les cinq processus-composants interagissent de manière dynamique et récursive afin de produire une réaction adaptée à un événement considéré comme essentiel pour le bien-être de l'individu. En d'autres termes, l'émotion est définie comme un épisode de changements corrélés et synchronisés de l'état de tous, ou de la plupart des cinq sous-systèmes de l'organisme en réponse à l'évaluation d'un stimulus évalué comme pertinent pour les préoccupations majeures de l'organisme (Sander & Scherer, 2009).

2.1.1. L'évaluation cognitive (« appraisal »)

Ce modèle suppose la primauté de l'évaluation cognitive sur les 4 autres composantes qu'elle sous-tend. Le modèle de la séquence d'évaluations cognitives est appelé modèle « stimulus evaluation check » (SEC) dans lequel le stimulus est évalué selon 4 critères (Scherer, 1984) :

L'évaluation de la pertinence, *i.e.*, en quoi l'événement va affecter directement l'individu ou son groupe de référence.

L'évaluation des implications, *i.e.*, quelles sont les conséquences de cet événement et à quel point affectera-il le bien être de l'individu et ses buts à court et long termes ?

L'évaluation du potentiel de maîtrise, *i.e.*, à quel point l'individu va pouvoir s'adapter ou s'ajuster à ses conséquences ?

L'évaluation de la signification normative, *i.e.*, quelle est la signification de cet événement par rapport aux standards internes, aux valeurs et normes sociales de l'individu impliqué.

2.1.2. Les réponses physiologiques périphériques

Faisant suite à l'apparition de l'élément déclencheur, plusieurs réactions périphériques en lien avec le système nerveux périphérique peuvent avoir lieu dans le but de préparer l'organisme à réagir de façon adaptée aux stimulations pertinentes de l'environnement (Ekman, 1992; Ohman, Flykt, & Esteves, 2001). Par exemple, face à un événement effrayant (danger), l'activité cardiaque augmente en vue d'accroître l'afflux sanguin au niveau des muscles et du cerveau, la tension artérielle augmente, la respiration s'accélère, les pupilles se dilatent et la conductivité de la peau augmente particulièrement au niveau des mains et des pieds suite à une activité plus forte des glandes sudoripares très nombreuses dans ces régions.

La plupart des réactions physiologiques sont mesurables directement (dilatation pupillaire), ou indirectement (activité des glandes sudoripares via l'activité électrodermale) avec les techniques actuelles. De nombreuses études utilisent ces mesures dans l'étude des épisodes émotionnels ; elles constituent de très bons indicateurs de l'intensité émotionnelle provoquée par l'événement déclencheur. En revanche, les réactions physiologiques ne permettent pas de caractériser un état émotionnel spécifique de l'individu dans le sens où un

même pattern de réponse peut être associé à plusieurs émotions différentes (comme tristesse et peur, pour revue voir Cacioppo, Klein, Berntson, & Hatfield, 1993).

2.1.3. Les expressions motrices

Derrière ce terme expressions motrices, Scherer (2009) fait référence aux expressions faciales et vocales provoquées par un épisode émotionnel. La fonction première de cette composante est de permettre aux individus de communiquer entre eux leurs états émotionnels. Cela permettrait, par exemple, à un membre d'un groupe de signaler un danger qu'il aurait perçu et de le signaler à ses compères qui ne l'auraient pas vu. Dans le but d'une communication efficace sans ambiguïté, il est supposé une spécificité des expressions motrices à un type d'émotions. Ekman (1987) et Izard (1971), dans des études clés, ont montré, outre la spécificité d'expression faciale à une émotion (la peur, la colère...), qu'elles étaient transculturelles laissant suggérer qu'elles seraient produites par des programmes neuro-moteurs innés.

2.1.4. La tendance à l'action

Comme l'avait mentionné Darwin dans son ouvrage « The expression of Emotion in Man and Animals », les émotions servent de fonctions utiles à la préparation de comportements adaptatifs nous permettant de poursuivre un but prioritaire à un moment donné. Cet état préparatoire aux réactions comportementales constitue cette composante de « tendance à l'action » et permet une facilitation pour certains comportements et certaines réponses motrices dans l'atteinte d'un objectif particulier. Dans la théorie des « processus composantes », la composante de « tendance à l'action » serait sous-tendu par le processus d'évaluation cognitive mais influencerait, en rétroaction, ce processus d'évaluation cognitif lui-même (Sander & Scherer, 2009).

2.1.5. Le sentiment subjectif

Cette composante est la plus évidente. Elle est le reflet de la prise de conscience par l'individu de son changement d'état et donc des changements relatifs aux autres composantes faisant suite à un événement particulier. Cette expérience consciente de l'émotion est personnelle et se définit par le moment où elle est expérimentée. Cette composante est souvent confondue dans la littérature avec le concept d' « émotion » alors qu'elle n'en serait

qu'une sous-partie selon le modèle des « processus composants ». Le sentiment subjectif est très souvent lié à la notion de valence de l'état émotionnel qui est perçu comme positif ou négatif ou encore en termes de plaisir ou douleur. Toutefois, nous pouvons utiliser de nombreux autres critères pour indiquer notre ressenti et différencier les émotions les unes des autres. Le sentiment subjectif renvoie à la labellisation de l'émotion puisque la conscientisation passe souvent par le langage, mais ne se limite pas à cela car certains ressentis sont difficilement qualifiables avec des mots.

2.2. Motivation et théories émotionnelles des « tendances à l'action »

Les théories motivationnelles, quant à elles, placent les états préparatoires aux réactions comportementales, appelés « tendances à l'action » ou encore « états motivés », au centre de la conception des émotions (Frijda et al., 1989; Frijda, 1986). « Tendance à l'action » et motivation sont indissociables. Les états de « tendance à l'action » permettraient une facilitation pour certains comportements et certaines réponses motrices dans l'atteinte d'un objectif particulier appelé « motivation conséquente ». Dans la lignée des théories de l'« appraisal », la motivation « conséquente » est le résultat des processus d'évaluation cognitive qui évaluent un événement comme favorable ou défavorable par rapport aux motivations « antécédentes » de l'individu (buts, valeurs, besoins ; Sander & Scherer, 2009 ; voir figure 3). Il faut distinguer la tendance à l'action des actions résultantes. En effet, ces états de tendance à l'action sont représentatifs des motivations de l'individu qui sous-tendent ses actions; plusieurs actions sont alors possibles pour une même tendance à l'action. Par exemple, pour une émotion de peur, la tendance à l'action est un état préparatoire à un comportement dont le but est de se protéger. L'action résultante peut être la fuite ou l'immobilisation selon le contexte.

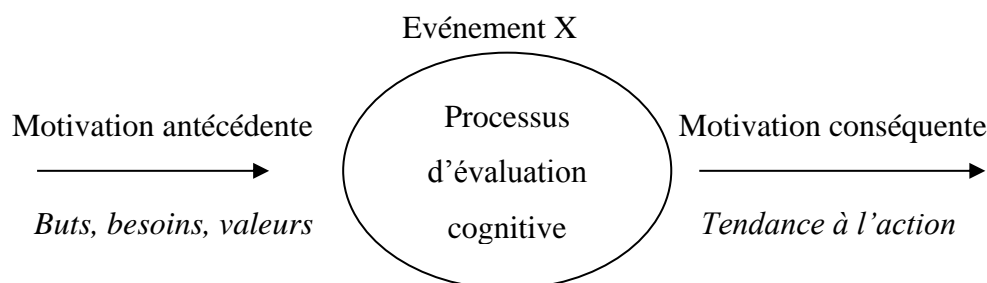


Figure 3 : Schéma décrivant le processus émotionnel selon les théories « motivationnelles ».
Extrait de Sander et Scherer (2009)

Pour Frijda (Frijda et al., 1989; Frijda, 2010), les émotions sont des « états motivationnels », et plus précisément des états de tendance à l'action dans lesquels l'individu se prépare à modifier sa relation avec l'environnement ou au contraire à maintenir la relation existante malgré les obstacles et interférences. Dans cette perspective, Frijda, (1989), dans une approche discrète des émotions, distingue les états émotionnels en fonction de leurs tendances à l'action et propose ainsi 17 catégories: approche, être avec, protection, évitement, être attentif, distance, rejet, désintérêt, ne pas désirer, bouillonner intérieurement, opposition, combativité, interruption, préoccupation, à la commande, aider, disparaître, inhibition, rougir, soumission, apathie, renoncement, fermeture, impuissance, crier, exaltation, exubérance, rire et repos. Des critiques existent sur la validité psychologique de cette liste qui est donnée ici à titre d'exemple (Roseman, Wiest, & Swartz, 1994).

Ces différents états de « tendance à l'action » ont plusieurs conséquences (Frijda & Mesquita, 1994; Frijda & Tcherkassof, 1997). Ils sont accompagnés de réponses physiologiques et musculaires préparant les comportements moteurs, de manière à faciliter l'exécution de certains comportements et à en défavoriser d'autres. Ces « états motivés » se reflètent au travers du sentiment subjectif de l'individu et peuvent influencer la cognition. Ils sont, par ailleurs, communiqués à autrui à travers les expressions faciales et les postures corporelles.

Pour appuyer les théories motivationnelles, plusieurs auteurs ont cherché à démontrer la pertinence de ce concept de tendance à l'action et à mettre en évidence l'existence de ces facilitations motrices causées par l'émotion. La première étude a été proposée par Solarz (1960) puis reprise par Chen et Bargh (1999). Dans ces études, les auteurs supposent que nous sommes prédisposés à répondre de manière particulière à telle ou telle émotion. Autrement dit, une émotion serait associée à une tendance à l'action spécifique qui, intégrée au niveau cérébral, provoquerait une facilitation pour un geste moteur spécifique lors de cette émotion. Dans une tâche utilisant un levier qu'il s'agissait de pousser ou de tirer suite à la présentation d'une image émotionnelle, les auteurs ont observé une facilitation à pousser le levier lors de la présentation d'images négatives, comme pour repousser l'image, et une facilitation à tirer le levier pour des images positives, comme pour tirer l'image à soi. Les auteurs ont interprété ces résultats comme une preuve que les émotions favorisent une action et, en particulier, une flexion du bras pour les images négatives, et une extension du bras pour les images positives. Néanmoins, d'autres auteurs ont démontré par la suite que ce n'était pas tant le geste moteur en lui-même de flexion ou d'extension qui serait associé à une émotion (agréable ou

désagréable) mais plutôt les conséquences de ce geste pour l'individu, ouvrant l'idée que plusieurs actions peuvent être facilitées pour une même émotion dès qu'elles impliquent une même conséquence. Sur ces hypothèses, Bamford et Ward (2008) ainsi que Seibt et collaborateurs (2008) ont manipulé la représentation du geste et les conséquences de celui-ci en dissociant le geste de la conséquence. Seibt et collaborateurs (2008) ont ainsi réutilisé le paradigme proposé par Solarz (1960) mais ont proposé aux sujets, dans une condition, d'associer le fait de tirer le levier avec un rapprochement de l'image, et dans une autre condition, de l'associer avec un éloignement de l'image (et inversement pour le geste de pousser le levier). Pour les images positives, ils ont observé une facilitation pour un mouvement ayant pour conséquence une approche, indépendamment de la condition de flexion ou d'extension du bras (*i.e.*, pousser ou tirer le levier). Quant aux images négatives, une facilitation a été observée pour un mouvement ayant pour conséquence un éloignement de l'image, indépendamment du sens de manipulation du levier. L'ensemble de ces résultats conforte l'idée que la conséquence du geste est plus importante que le geste en lui-même dans la facilitation à effectuer telle ou telle action en réaction à une sollicitation émotionnelle. Ainsi, l'émotion ne serait pas associée à une action mais bien à une tendance à l'action vue comme une motivation associée à une conséquence particulière. En accord avec cette hypothèse, Lang et collaborateurs (Bradley, Greenwald, Petry, & Lang, 1992; Lang, Bradley, & Cuthbert, 1990; Lang, 1994) suggèrent que le comportement serait organisé sur une dimension appétitive-aversive gérée par deux sous-systèmes motivationnels et donnant lieu à deux types de tendance à l'action. Le premier est activé en réponse à des stimulations principalement agréables donnant lieu à des comportements d'approche ou d'attachement (il est à noter que certaines émotions négatives telles que la colère sont susceptibles d'engendrer aussi un comportement d'approche); le second est activé en réponse à des stimulations désagréables et facilite des comportements d'évitement, de fuite, ou de défense. Ces travaux se rapprochent de ceux de Davidson (1992, 1998) qui suggère deux types de tendance à l'action : tendance à l'approche et tendance au retrait. Pour ces auteurs, les émotions serviraient à coordonner la perception, la cognition et les tendances à l'action.

2.3. Les modèles de différenciation de l'émotion

Les questionnements sur le concept d'« émotion » et sur l'émergence des émotions ont amené à d'autres questions notamment sur la manière de caractériser la multitude d'états émotionnels possibles et sur le comment les différencier les uns des autres. Plusieurs modèles

ont été proposés et sont divisés en deux courants: l'approche discrète des émotions et l'approche dimensionnelle. L'approche discrète repose sur l'hypothèse qu'il existe un nombre fini d'émotions de base, définissables, dont le nombre varie selon les modèles, alors que l'approche dimensionnelle suppose que les états émotionnels sont infinis et peuvent être différenciés et quantifiés selon un ou plusieurs continuums (dimension(s)).

L'approche discrète est plus fréquemment utilisée dans le cadre de protocoles expérimentaux utilisant des expressions faciales. Quant à l'approche dimensionnelle, elle est plus fréquemment utilisée lorsqu'il s'agit d'exprimer le ressenti face à des mots ou des scènes naturelles ; la labellisation du ressenti selon une approche discrète étant plus complexe pour ce type de stimuli qui induisent souvent un mélange de plusieurs ressentis.

2.3.1. Les modèles discrets ou dit des « émotions de base »

Les modèles discrets des émotions dérivent des conceptions de l'émotion proposées par les théories de l'émotion incarnée ou périphérique en s'appuyant sur les réponses motrices et faciales pour caractériser les états émotionnels. Ces modèles supposent qu'il existe un déterminisme génétique dans l'expression et la reconnaissance des émotions. Selon ces modèles, il existerait un nombre fini d'états corporels différents correspondant à cet ancrage génétique émotionnel et à des émotions de base. Le modèle le plus populaire, dans l'approche discrète, est celui d'Ekman (Ekman et al., 1987; Paul Ekman & Davidson, 1994; Ekman, 1992). Suite à ces nombreux travaux sur l'expression faciale, ce dernier a identifié six états émotionnels de base associés à six réponses physiologiques et corporelles distinctes (principalement des réponses faciales), à savoir l'émotion de peur, de colère, de tristesse, de dégoût, de surprise et de joie, chacune correspondant à une expression faciale universellement connue. Dans cette continuité, Izard (1977) propose, quant à lui, 10 émotions de base : joie, intérêt/excitation, surprise, tristesse, colère, dégoût, dédain, peur, honte, culpabilité. Les autres émotions seraient une combinaison de ces émotions de base dites fondamentales, comme par exemple, l'amour, qui serait la combinaison de joie et intérêt/excitation.

2.3.2. Les modèles dimensionnels

Les modèles dimensionnels, quant à eux, proposent des espaces à une ou plusieurs dimensions représentatives des émotions. Wundt et Judd (1897) sont les premiers à proposer ce type de représentation en proposant que les émotions soient une fusion de ces dimensions.

La grande majorité des modèles dimensionnels s'accorde pour dire que la dimension de valence (agréable à désagréable) est capitale : une émotion de joie serait donc plaisante et une émotion de colère déplaisante. Le modèle dimensionnel actuellement le plus utilisé est le modèle tridimensionnel de Lang et ses collaborateurs (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1990) contenant une dimension de valence, une dimension d'activation (calme à excité) faisant référence aux réactions physiologiques périphériques et une dimension de dominance mesurant la capacité de l'individu à maîtriser/contrôler la situation.

L'évaluation de ces dimensions caractérisant l'état émotionnel repose essentiellement sur l'utilisation de questionnaires subjectifs tels que celui proposé par Bradley et Lang (1994), appelé le Self Assessment Manikin (SAM, figure 4).

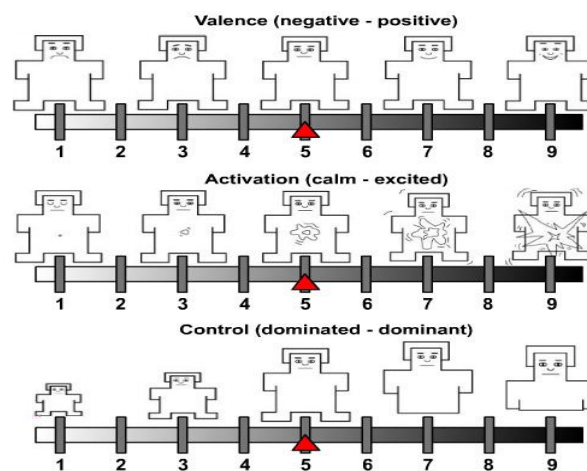


Figure 4 : Self-assessment manikin (SAM) Test (Bradley and Lang, 1994). Ce test est utilisé pour permettre à l'individu d'exprimer son ressenti face à un stimulus ou une situation. Sur des échelles de 1 à 9, il quantifie son ressenti selon une dimension de valence (1 = désagréable ; 9 = agréable), une dimension d'activation (1= état calme ; 9= état très excité) et une dimension de contrôle de la situation (1= je suis dominé par la situation ; 9= je domine la situation)

Il est à noter que, conceptuellement, l'activation (« arousal » en anglais) se distingue de l'intensité émotionnelle, évaluée à travers l'échelle continue de valence. Il peut, en effet, survenir des situations à forte intensité positive/négative provoquant un faible degré d'activation (d'état d'excitation) et inversement. Par exemple, l'émotion de surprise n'est ni vraiment agréable ni désagréable mais provoque un haut niveau d'activation. Néanmoins, des études (Gruhn & Scheibe, 2008; Lang, Bradley, & Cuthbert, 1998) ont montré que l'intensité émotionnelle et l'activation étaient très corrélées, en particulier pour le matériel expérimental essentiellement utilisé en sciences affectives (figure 5). Il est donc parfois difficile pour les participants à qui l'on demande de juger du matériel émotionnel de faire la distinction entre l'intensité sur la valence et la dimension d'activation.

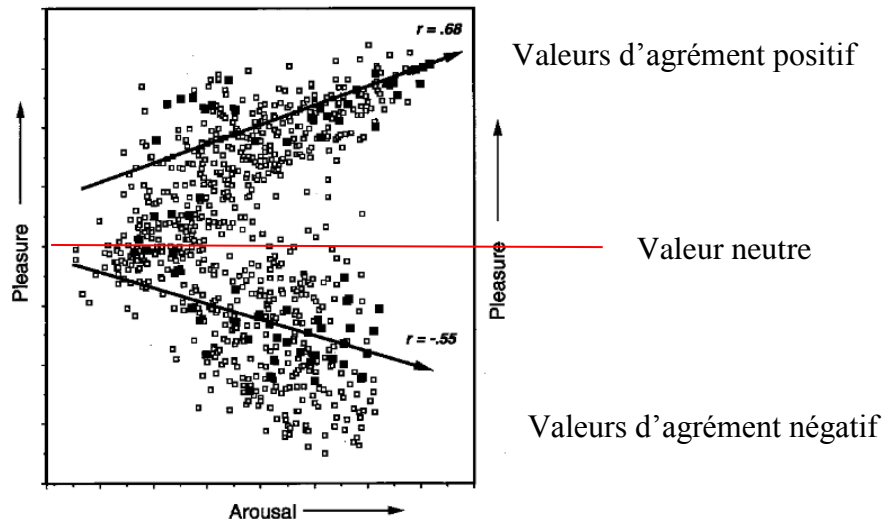


Figure 5: Valeur de l'agrément en fonction de l'activation pour chaque stimulus de la banque d'image IAPS. Extrait de (Lang et al., 1998)

3. Les corrélats neuronaux

De ces approches discrètes et dimensionnelles de différenciation de l'émotion ont découlé plusieurs modèles anatomo-fonctionnels des traitements émotionnels qui font débat actuellement dans la littérature.

Les premiers modèles dits « localisationnistes », dérivant des modèles discrets de différenciation de l'émotion, supposent que les différentes émotions ont leur origine dans des mécanismes cérébraux distincts et proposent qu'une structure cérébrale soit spécifique au traitement d'une émotion : par exemple, le traitement de la peur serait spécifique à l'amygdale (Hamann, 2012; Murphy, Nimmo-Smith, & Lawrence, 2003), le dégoût à l'insula (Murphy et al., 2003). Toutefois ces modèles n'excluent pas la possibilité que d'autres structures cérébrales soient impliquées dans le traitement. Dans le cadre de ces modèles, il faut plutôt parler d'un réseau spécifique dans lequel une structure aurait un rôle particulier plutôt que d'une association de type « une structure - une émotion » (Hamann, 2012).

Selon la deuxième approche dite « constructiviste », dérivant de l'approche dimensionnelle des émotions, celles-ci émergeraient de plusieurs opérations psychologiques de bases communes entre les émotions. Ces opérations interagiraient ensemble pour faire émerger la signification émotionnelle d'un stimulus, le tout sous l'influence de facteurs sociaux et environnementaux (Lindquist et al., 2011). La méta-analyse de Lindquist et collaborateurs (2012) soutient une de ces théories constructivistes, le modèle d'acte

conceptuel (en anglais : *conceptual act model*). Selon Lindquist et collaborateurs (2012), l'émotion émanerait d'une combinaison de trois éléments : 1) le noyau affectif (en anglais : *core affect* ; *i.e.*, représentation mentale des changements corporels qui peuvent être expérimentés selon des dimensions de valence et d'activation émotionnelle – une fusion en quelque sorte de ces deux dimensions), 2) un processus de conceptualisation (*i.e.*, processus de catégorisation qui permet de déterminer la signification émotionnelle du noyau affectif) et tout ceci en fonction de 3) la situation environnementale. Dans ce cadre, l'amygdale serait une structure clé participant à l'émergence du noyau affectif, et serait responsable de l'évaluation de la saillance motivationnelle des stimuli.

Malgré cette divergence de vision du lien entre aires cérébrales et émotion, la littérature s'accorde sur le fait que l'émotion émerge d'un ensemble d'interactions entre plusieurs aires cérébrales connectées et formant des réseaux fonctionnels spécifiques du traitement émotionnel. Certaines de ces aires cérébrales peuvent être spécifiques d'une émotion alors que d'autres ont des fonctions plus génériques dans le traitement émotionnel et sont donc communes à plusieurs émotions. La figure 6 présente la localisation de la plupart de ces structures. Dans la suite de cette partie, nous les détaillerons et ferons le lien avec leurs fonctionnalités potentielles à travers diverses études de neuropsychologie ou de neuro-imagerie.

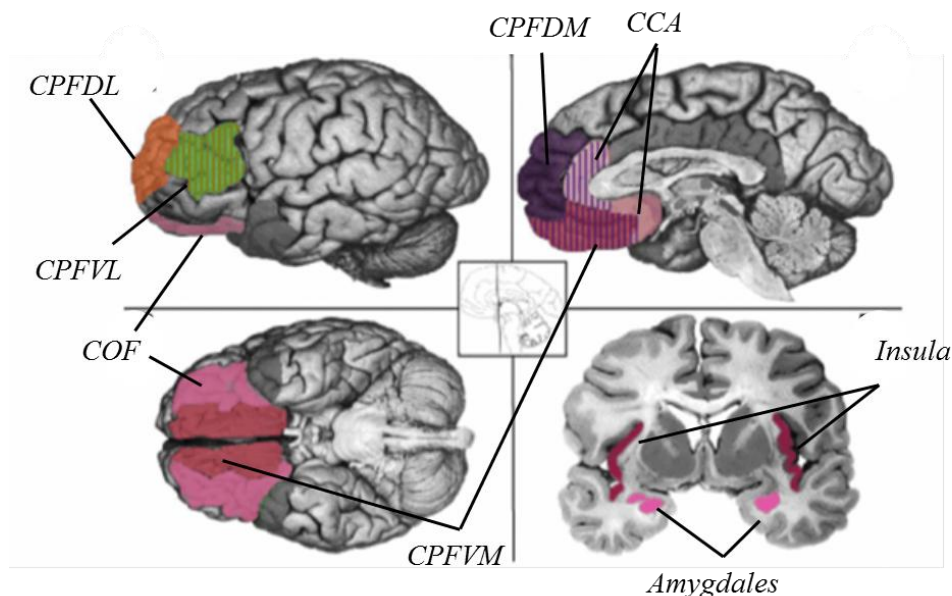


Figure 6: Régions cérébrales impliquées dans les traitements émotionnels. CPFDL : cortex préfrontal dorso-latéral ; CPFDM : cortex préfrontal dorso-médian ; CPFVL : cortex préfrontal ventro-latéral ; CPFVM : cortex préfrontal ventro-médian ; COF : cortex orbito-frontal ; CCA : Cortex cingulaire antérieur. Extrait de Lindquist et al.,(2011)

3.1. L'amygdale

L'amygdale, structure sous-corticale, est probablement la structure la plus étudiée du réseau émotionnel. Sa fonctionnalité, contrairement aux autres structures, notamment frontales, serait essentiellement d'ordre émotionnel.

L'amygdale est considérée par certains auteurs comme la structure traitant spécifiquement l'émotion de peur (LeDoux, 1995; Ohman et al., 2001; Vuilleumier, Richardson, Armony, Driver, & Dolan, 2004) et serait particulièrement impliquée dans les humeurs anxieuses (pour revue, voir Damsa, Kosel, & Moussally, 2009; pour une méta-analyse, voir Etkin & Wager, 2007). Les individus présentant des lésions bilatérales de l'amygdale ne rapportent, en effet, plus d'émotions de peur lorsqu'ils sont face à des stimuli qui habituellement la provoquent (araignées, serpent; Anderson & Phelps, 2002; Feinstein, Adolphs, Damasio, & Tranel, 2011). Plus généralement, une méta-analyse souligne que l'amygdale serait sensible aux stimuli négatifs (Wager & Smith, 2003). Toutefois, des études montrent des activations aussi pour les stimuli positifs (pour revue voir Sander, Grafman, & Zalla, 2003). L'ensemble des données de la littérature suggère donc que l'activité de l'amygdale serait plutôt sensible au degré d'« activation » (« arousal ») des stimuli (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001; Weierich, Wright, Negreira, Dickerson, & Barrett, 2010) ou serait modulée en fonction de la saillance motivationnelle (Lindquist, Wager, Kober, Bliss-moreau, & Barrett, 2011). Selon plusieurs auteurs, l'amygdale jouerait davantage un rôle central dans l'évaluation et la détection de la pertinence biologique d'un stimulus pour l'individu indépendamment de sa valence, en lien avec ses buts, besoins et motivations (Anderson & Sobel, 2003; Brosch & Sander, 2013; Killgore & Yurgelun-Todd, 2004; Sander et al., 2003; Sander, 2012). De plus, comme nous le verrons dans la suite de ce chapitre, diverses études suggèrent que sur la base de cette évaluation, l'amygdale contribuerait à l'orientation et à la focalisation de l'attention sur les stimuli émotionnels et faciliterait, par ce biais, leur traitement perceptuel (Ochsner & Gross, 2005; Pourtois, Schettino, & Vuilleumier, 2013; Vuilleumier & Pourtois, 2007). Enfin, l'amygdale jouerait un rôle essentiel dans le conditionnement classique et renforcerait l'encodage et la consolidation des souvenirs épisodiques émotionnels, lesquels sont sous contrôle du complexe hippocampique (Mather et al., 2004; Phelps, 2004). L'ensemble de ces fonctions serait permis grâce aux très nombreuses connections de l'amygdale avec différentes aires cérébrales corticales telles que les aires sensorielles, le cortex cingulaire antérieure

(CCA), le cortex orbito-frontal (COF), et des aires sous-corticales telles que l'hippocampe ou l'hypothalamus (Luiz Pessoa & Adolphs, 2010).

3.2. L'hippocampe

L'hippocampe est connu pour son rôle important dans la formation des nouveaux souvenirs des événements vécus (mémoire épisodique ou autobiographique ;Eichenbaum & Cohen, 1995; Squire & Schacter, 2003). Dans le cadre des émotions, l'hippocampe renseignerait sur le contexte de l'évènement émotionnel et déterminerait les conditions de sa mise en œuvre. Ses liens de connectivité réciproques avec l'amygdale permettraient de faciliter l'encodage, et le stockage d'un épisode émotionnel en mémoire et son rappel. Ainsi, il participerait, avec l'amygdale, à l'évaluation de la signification émotionnelle d'un stimulus en permettant l'accès à des représentations épisodiques stockées en mémoire (pour revue, voir Phelps, 2004). En effet, de nombreuses études en IRMf notent une forte connectivité fonctionnelle entre l'amygdale et l'hippocampe lors de tâche de mémorisation ou de rappel d'événements ou d'images émotionnels (St Jacques, Dolcos, & Cabeza, 2009, 2010).

3.3. Le cortex préfrontal

La prise en compte de l'implication du cortex préfrontal dans les traitements émotionnels a débuté avec le cas de Phineas Gage (1823-1860). Cet américain a présenté des troubles émotionnels suite à des dommages du cortex préfrontal gauche dans un accident de travail, sans présenter de séquelles sur le plan cognitif. Il était devenu instable, asocial, colérique. Le cortex préfrontal dans sa globalité participerait à tout ce qui relève des fonctions plus élaborées du processus émotionnel telles que l'évaluation des stimuli en fonction des besoins/motivations de l'individu, prises de décision, verbalisation des émotions, adaptation du comportement social de l'individu et régulation émotionnelle. Le cortex préfrontal englobe plusieurs aires cérébrales : le cortex orbito-frontal (COF), dorso-médian (CPFDM), dorso-latéral (CPFDL), ventro-médian (CPFVM) et ventro-latéral (CPFVL). Selon la littérature (Korb, 2009; Ochsner & Gross, 2005), ces structures préfrontales s'organisent en deux systèmes préfrontaux différents, à savoir i) le système de contrôle ventral incluant le Cortex Préfrontal Ventro-Médian (CPFVM) et le Cortex Orbito-Frontal (COF) et ii) le système de contrôle dorsal comprenant le Cortex Préfrontal Dorso-Latéral (CPFDL) et le Cortex

Préfrontal ventro- Latéral (CPFVL), contrôlant et modulant par un « effet top-down » les traitements affectifs réalisés par les structures sous-corticales limbiques telles que l'amygdale

-Le système de contrôle ventral (CPFVM et COF) aurait pour charge d'évaluer la valeur émotionnelle du stimulus dans son contexte et de contribuer à sélectionner les actions de réponse appropriées (Beer, Knight, & D'Esposito, 2006; Lindquist et al., 2011; O'Doherty, 2007; Rolls & Grabenhorst, 2008). Plus spécifiquement, le COF serait particulièrement impliqué dans les comportements agressifs associés à une émotion de colère (Ferris et al., 2008; Murphy et al., 2003; Vytal & Hamann, 2010). Plusieurs études en neuro-imagerie illustrent un lien étroit entre l'activité du COF et la dimension de valence (Goodkind et al., 2012; Kawasaki et al., 2001) ou plus généralement l'évaluation de la valeur affective (ou valeur de récompense) de la situation telle qu'elle est perçue sur une échelle continue (O'Doherty, 2007; Rolls & Grabenhorst, 2008). D'autres études suggèrent une contribution du COF dans les représentations de valeurs de l'action (pour revue, voir O' Doherty, 2007). Le COF (latéral) jouerait également un rôle dans la prise de décision (Adolphs et al., 1996; Bechara, Tranel, & Damasio, 2000; Koenigs et al., 2008). Le COF associé avec l'évaluation de la pertinence contextuelle de l'information émotionnelle (Beer et al., 2006) permettrait d'aider l'organisme dans le choix des réponses comportementales adaptées aux contextes (Lindquist et al, 2011). Ses nombreuses connections avec les aires sensorielles et les aires responsables des réponses viscérales font du COF une aire d'intégration des informations sensorielles endogènes et exogènes (Lindquist et al, 2011). Le COF possède également des connexions directes avec les autres structures préfrontales telles que le CPFDL et les structures limbiques sous-corticales telles que l'amygdale.

Le CPFVM permettrait, quant à lui, d'attribuer une signification à l'évènement pour l'individu (Brosch & Sander, 2013). En effet, le CPFVM serait particulièrement central dans l'adaptation comportementale au contexte social et dans la prise en compte des motivations intrinsèques de l'individu, c'est-à-dire centrées sur soi (buts, besoins, ...), lors de tâches d'évaluation cognitive de situations émotionnelles (Gusnard, Akbudak, Shulman, & Raichle, 2001; Northoff et al., 2006; Phillips, Henry, Hosie, & Milne, 2008). Le CPFVM pourrait être impliqué, entre autre, dans des processus de mise en relation entre un évènement (émotionnel) et des expériences passées stockées en mémoire (Lindquist et al, 2011). Le CPFVM, comme le COF, possède de fortes interconnexions avec l'amygdale, le CCA et les noyaux accumbens, ainsi qu'avec d'autres structures affectives sous-corticales dont il module l'activité,

notamment lors de processus de régulation émotionnelle ou lors de processus attentionnels (Ochsner & Gross, 2005; Pourtois et al., 2013; Urry et al., 2006).

-Le système de contrôle dorsal (CPFDL et CPFL), quant à lui, serait impliqué dans le raisonnement explicite sur les associations entre stimuli et réponses et sur la manière dont elles peuvent être modifiées (Miller & Cohen, 2001; Ochsner & Gross, 2005). Le CPFDL constitue particulièrement une aire d'intégration importante des informations cognitives et motivationnelles comme en attestent différentes études chez l'homme et le primate (Ichihara-Takeda & Funahashi, 2008; Kobayashi, Lauwereyns, Koizumi, Sakagami, & Hikosaka, 2002; Szatkowska, Bogorodzki, Wolak, Marchewka, & Szeszkowski, 2008; Wallis & Miller, 2003; Watanabe, Hikosaka, Sakagami, & Shirakawa, 2002). Selon certains travaux (Coan & Allen, 2003; Gable & Harmon-Jones, 2008; Harmon-Jones & Gable, 2009; Harmon-Jones, 2003, 2004), l'activité du CPFDL serait intimement liée à la direction motivationnelle de la stimulation (tendance à l'action engendrée par la situation : approche/évitement) plutôt qu'au ressenti émotionnel de la situation (agréable/désagréable ou positif/négatif). Par ailleurs, le CPFDL est classiquement vu comme ayant un rôle fondamental dans les fonctions exécutives, les processus stratégiques, la planification, les raisonnements complexes, la mémoire, et la prise de décision (Corbetta, Patel, & Shulman, 2008; Corbetta & Shulman, 2002; Miller & Cohen, 2001). Sur cette base, le CPFDL participerait également au contrôle cognitif du comportement moteur et à l'exécution de l'action (Cieslik et al., 2012) associée à telle ou telle émotion grâce à ses interconnexions avec le cortex moteur. En outre, alors que le CPFVM serait davantage impliqué dans des évaluations centrées sur soi, le CPFDL (comme le CPFDL d'ailleurs ; Gusnard et al., 2001) serait davantage impliqué dans les évaluations centrées sur la situation, telles que des tâches de catégorisation de type « situation en intérieur ou extérieur » (Ochsner et al., 2004). Alors que le CPFVM permettrait un traitement holistique et général de l'information émotionnelle, le CPFL permettrait un traitement plus spécifique et détaillé (Schaefer et al., 2003). Le cortex CPFVL semble aussi intervenir dans les processus de labélisation de l'émotion (Vigneau et al., 2006) et de régulation consciente de l'émotion (voie intérieure) (Urry et al., 2006; Urry, van Reekum, Johnstone, & Davidson, 2009). Le système de contrôle dorsal entretient peu de connexions avec les structures sous-corticales émotionnelles, mais peut cependant exercer une influence sur celles-ci par l'intermédiaire du système ventral ou à travers des systèmes perceptifs ou mnésiques associatifs. Le CPFDL est connu pour avoir de fortes connexions réciproques avec le COF

comme en attestent les études chez le primate (pour une revue, voir Cavada & Schultz, 2000). Alors que des entrées cognitives issues du CPF DL peuvent biaiser les représentations affectives dans le COF, différentes études chez le primate (Wallis & Miller, 2003) et chez l'homme (Szatkowska et al., 2008) suggèrent que le COF peut relayer l'information de pertinence motivationnelle au CPF DL.

3.4. Cortex cingulaire antérieur

Le cortex cingulaire antérieur (CCA) serait impliqué dans la douleur et plus généralement dans les sentiments de souffrance et de tristesse (Murphy et al., 2003; Vogt, 2005). Des modulations structurelles et fonctionnelles ont été relevées chez des patients atteints de dépression clinique (pour revue, voir Gotlib & Hamilton, 2008). Un rôle de régulateur des réponses viscérales est aussi proposé pour le CCA (Gotlib & Hamilton, 2008). D'autres études supposent que le CCA, associé au CPF DL, jouerait également un rôle dans la détection des conflits (Banich, 2009; Shackman et al., 2011) et des congruences entre des informations venant de l'environnement avec les buts et motivations de l'individu (Brosch & Sander, 2013). Le CCA est aussi particulièrement activé lors des tâches émotionnelles à haute charge cognitive impliquant de faire des choix ou lors de tâches de report du ressenti émotionnel (Banich, 2009; Lindquist et al., 2011; Shackman et al., 2011).

3.5. L'insula

L'insula est assez fréquemment associée avec l'émotion de dégoût (Calder, 2003). Elle est particulièrement impliquée dans le réflexe de vomissement faisant suite à des stimuli de nourriture avariée par exemple (Rozin, Haidt, & McCaule, 2008). Néanmoins, des sujets ayant reçu une stimulation dans l'insula rapportent ressentir des sensations proches du dégoût, comme la nausée, mais sans en ressentir vraiment le sentiment (Penfield & Faulk, 1955) comme avoir envie de vomir ou sentir une odeur nauséabonde. C'est pourquoi il est suggéré que l'insula ait plutôt un rôle, dans les traitements émotionnels, de prise en compte ou de genèse des réponses physiologiques périphériques telles que les réponses viscérales (Craig, 2002). L'insula permettrait d'intégrer au processus émotionnel une représentation actuelle et anticipée de l'état corporel et des sensations associées (Singer, Critchley, & Preuschoff, 2009). Dans ce sens, Lindquist et collaborateurs (2011) proposent que l'insula joue un rôle dans l'intégration et l'évaluation des conséquences d'un stimulus émotionnel sur les réponses

physiologiques périphériques et viscérales. Ce rôle serait sous-tendu par des connexions avec l'amygdale et le cortex préfrontal permettant des influences réciproques (Singer et al., 2009).

4. Emotion et attention

L'environnement qui nous entoure est complexe, riche, changeant. Il apparaît assez réaliste de se dire que notre cerveau ne traite pas de façon approfondie toute l'information captée par les différents systèmes sensoriels. L'attention permet de sélectionner et faire ainsi le tri dans ce flux continu d'informations sur la base de leur pertinence pour l'individu ou de leurs propriétés intrinsèques. L'attention orientée vers tels ou tels stimuli entraîne une augmentation des traitements perceptuels permettant un traitement plus fin de ces derniers de manière à pouvoir y réagir de façon adaptée. Parallèlement, le traitement des autres stimuli non pertinents est inhibé.

Dans un premier temps, nous allons voir que les propriétés intrinsèques des stimuli, en particulier les propriétés affectives, peuvent « capturer » l'attention, phénomène appelé « attention motivée » (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1992) ou encore « attention émotionnelle » (Vuilleumier, 2005). Il est à distinguer de ce qui est appelé, dans la littérature, l'attention « volontaire » qui est aussi une forme de sélection attentionnelle mais dépendante des motivations et buts de l'individu (Pourtois et al., 2013).

4.1. Attention motivée : influence de la nature intrinsèque du stimulus sur les traitements

De par leur pertinence motivationnelle intrinsèque pour l'individu et ses besoins de survie, les stimuli émotionnels bénéficient d'une sélection perceptive et attentionnelle prioritaire, lesquels ont des répercussions au niveau comportemental comme en attestent différentes études utilisant une diversité de paradigme. Par exemple, dans une tâche de détection de cibles parmi divers distracteurs, les stimuli émotionnels sont ainsi détectés plus rapidement que les stimuli non-émotionnels (Eastwood, Smilek, & Merikle, 2001; Ohman et al., 2001). Il en est de même dans des tâches de clignement attentionnel (« blink attentionnel »), les stimuli cibles émotionnels résistant mieux au phénomène de clignement attentionnel que ceux non-émotionnels, (Anderson, 2005; Keil & Ihssen, 2004). Dans des paradigmes d'amorçage, les temps de réponse sont également plus courts lorsque des items

cibles apparaissent du côté de présentation d'une amorce émotionnelle (Armony, 2002; Koster, Crombez, Verschuere, & De Houwer, 2004; Koster, Verschuere, Crombez, & Van Damme, 2005; Mogg, Bradley, de Bono, & Painter, 1997; Mogg & Bradley, 1998; Karin Mogg & Bradley, 1999). Enfin, dans des tâches de Stroop émotionnel consistant à nommer la couleur dans laquelle un mot émotionnel ou non est écrit, les participants montrent plus de difficulté à nommer la couleur de mots émotionnels que celle de mots neutres (MacKay et al., 2004; Williams, Mathews, & MacLeod, 1996) illustrant ainsi les capacités de distraction des émotions sur la réalisation d'autres processus cognitifs.

Outre cette préférence attentionnelle pour les stimuli émotionnels par rapport aux stimuli neutres, un biais de négativité est parfois observé dans le sens où les stimuli négatifs sont préférés sur le plan attentionnel aux stimuli positifs (Baumeister, Bratslavsky, Finkenauer, & Vohs, 2001; Rozin & Royzman, 2001). Par exemple, dans une étude de détection de visages émotionnels dans des images de foules, Hansen & Hansen (1988) montrent que les visages négatifs, et plus particulièrement ceux exprimant de la colère, sont plus rapidement détectés que les visages positifs. Des effets semblables de la valence sont retrouvés pour des visages schématiques négatifs et positifs (Ohman et al., 2001). Quelques auteurs ont proposé une fonctionnalité à ce biais de négativité : selon eux, il procurerait à l'individu un avantage certain en termes de survie puisque les conséquences d'un événement dangereux sont souvent plus dramatiques que le fait d'ignorer ou de réagir lentement face à un stimulus appétitif ou neutres (Ekman, 1992; Öhman, 1992).

De nombreuses études d'imagerie fonctionnelle ont, depuis les années 2000, mis en évidence une activation de l'amygdale lors de la perception de scènes visuelles émotionnelles (Britton, Taylor, Sudheimer, & Liberzon, 2006; Kensinger, Schacter, College, & Hill, 2006; Liberzon, Phan, Decker, & Taylor, 2003; Phan et al., 2004; Phan et al., 2003; Sabatinelli, Bradley, Fitzsimmons, & Lang, 2005; Taylor, Phan, Decker, & Liberzon, 2003). Une méta-analyse basée sur 148 études (Sergeyev, Chochol, & Armony, 2008) montre que les stimuli aussi bien négatifs que positifs provoquent une réaction amygdalienne plus importante que les stimuli neutres. Une augmentation de l'activité cérébrale est aussi observée dans les aires sensorielles telles que le cortex visuel (Bradley et al., 2003; Lang et al., 1998; Sabatinelli et al., 2011, 2005; Sabatinelli, Lang, Keil, & Bradley, 2007) et le cortex auditif (Ethofer et al., 2012; Ethofer, Van De Ville, Scherer, & Vuilleumier, 2009; Grandjean et al., 2005) lors de présentation de stimuli émotionnels. Ces augmentations d'activité dans les aires sensorielles et amygdaliennes pour les stimuli émotionnels seraient le reflet de la mise en œuvre de

processus d'attention sélective qui provoqueraient une modulation dans les traitements. Les stimuli pertinents tels que les stimuli émotionnels provoqueraient un engagement attentionnel plus important qui se traduirait par une augmentation de leur traitement perceptuel, induisant ainsi un traitement plus approfondi de ceux-ci pour permettre de s'y adapter efficacement (Pourtois et al., 2013).

Des études de potentiels évoqués permettent de renseigner sur la temporalité des modulations de traitement de l'information provoquées par les processus d'attention sélective. Différents potentiels ont été mis en évidence dans diverses tâches de catégorisation affective et non affective ou de simples tâches de perception passive de scènes émotionnelles, reflétant diverses étapes de traitement de l'information visuelle. Parmi les potentiels les plus précoces classiquement observées en EEG, outre la composante N75 appelée aussi C1, sont souvent étudiés les composantes P1 et N1 maximales dans les régions cérébrales occipitales aux alentours de 100 et 170 ms respectivement (pour revue Olofsson, Nordin, Sequeira, & Polich, 2008). Les ondes P1 et N1 auraient pour origine le cortex visuel extra-strié (Di Russo, Martínez, & Hillyard, 2003; Hillyard, Teder-Sälejärvi, & Münte, 1998; Martínez et al., 1999). Elles reflèteraient les premières étapes de l'analyse visuelle corticale (Hopf & Mangun, 2000) et sont très sensibles aux propriétés structurales des stimuli comme en atteste leur modulation par la complexité géométrique (Bradley, Hamby, Löw, & Lang, 2007), la couleur (Cano, Class, & Polich, 2009), ou la fréquence spatiale des images (Luis Carretié, Hinojosa, López-Martín, & Tapia, 2007). De nombreuses études observent une amplitude plus ample de ces potentiels pour les stimuli émotionnels par rapport aux stimuli neutres (Magali Batty & Taylor, 2003; Keil et al., 2001; Pourtois, Thut, Grave de Peralta, Michel, & Vuilleumier, 2005; Schupp, Junghöfer, Weike, & Hamm, 2003), suggérant une détection et un traitement précoce et privilégié de ce type de stimuli. Certains auteurs supposent que les variations d'amplitude des ondes P1 et N1 lors des stimuli émotionnels seraient le reflet d'une influence amygdalienne sur les aires visuelles (Rotshtein et al., 2010; Sabatinelli et al., 2005, 2007). Il est à noter, par ailleurs, qu'un biais de négativité est très fréquemment observé sur ces deux composantes avec une amplitude plus importante pour les stimuli négatifs que positifs à niveau d'activation (« arousal ») équivalent (Carretié, Martín-Loeches, Hinojosa, & Mercado, 2001; Delplanque, Lavoie, Hot, Silvert, & Sequeira, 2004; Smith, Cacioppo, Larsen, & Chartrand, 2003). Ce biais de négativité, présent dès les premières étapes de traitement de l'information soutiendrait l'idée d'un réseau cérébral spécifique aux émotions négatives (Cacioppo & Gardner, 1999; Crawford & Cacioppo, 2002; LeDoux, 1995; Morris, Ohman, &

Dolan, 1998; Ohman et al., 2001). Zald (2003) propose que l'amygdale soit le substrat anatomique du "biais de négativité".

Viennent ensuite des composantes à latences « intermédiaires » reflétant des processus de discrimination et de sélection de l'information (Di Russo, Taddei, Apnile, & Spinelli, 2006). L'onde négative EPN (« négativité postérieure précoce »), apparaissant entre 200 et 300 ms post-stimulus au niveau des sites fronto-centraux, s'observerait pour tout type de tâche visuelle et serait particulièrement sensible au niveau d'activation des stimulus plutôt qu'à la valence (Junghöfer, Bradley, Elbert, & Lang, 2001; Schupp, Flaisch, Stockburger, & Junghöfer, 2006). L'onde EPN refléterait des processus de sélection attentionnelle naturelle résultant de l'intégration des différentes caractéristiques du stimulus et de son évaluation sur le plan affectif (Dolcos & Cabeza, 2002; Schupp, Junghöfer, Weike, & Hamm, 2004; Schupp et al., 2004). Concernant les ondes P2 et N2 rapportées par diverses études, piquant au niveau des régions cérébrales centro-parietales entre 200 et 300 ms (Cuthbert, Schupp, Bradley, Birbaumer, & Lang, 2000; Delplanque, Silvert, Hot, & Sequeira, 2005), une modulation est fréquemment relevée en fonction des caractéristiques affectives (pour revue voir Olofsson et al., 2008) mais les résultats sont moins consensuels quant à un facteur d'influence spécifique. Certains rapportent une latéralité de l'onde N2 en fonction du niveau d'activation (Junghöfer et al., 2001; Schupp et al., 2006), d'autres une modulation de sa latence en fonction de la catégorie des images (Codispoti, Ferrari, & Bradley, 2007; Olofsson & Polich, 2007; Schupp et al., 2006). Concernant l'onde P2, certains auteurs mettent en évidence un biais de négativité avec une plus grande amplitude pour les stimuli négatifs par rapport aux neutres (Delplanque et al., 2004; Olofsson & Polich, 2007) ; d'autres trouvent un biais de positivité avec une plus grande amplitude pour les images positives et une absence de différence entre images négatives et neutres (Carretié, Hinojosa, Martín-Loeches, Mercado, & Tapia, 2004; Carretié, Mercado, Hinojosa, Martín-Loeches, & Sotillo, 2004; Spreckelmeyer, Kutas, Urbach, Altenmüller, & Münte, 2006), et, enfin, un biais émotionnel est parfois observé avec une amplitude plus importante pour les stimuli émotionnels indépendamment de leur valence (Hot, Saito, Mandai, Kobayashi, & Sequeira, 2006).

Finalement deux composantes plus tardives sont particulièrement étudiées : l'onde P300 et le potentiel positif tardif (LPP), survenant tout deux au-delà de 300ms (pour revue voir Hajcak, MacNamara, & Olvet, 2010). L'onde P300 est observée au niveau des régions parieto-occipitales entre 300 et 500ms post-stimulus et serait particulièrement visible lors des paradigmes de type « oddball ». Elle est suivie par une autre onde positive plus lente entre

400 et 900 ms au niveau des sites centro-pariétales, le potentiel positif tardif (LPP). Ces deux ondes P300 et LPP sont souvent confondues de par leurs proximités temporelles et géographiques. La littérature suggère que la source de l'onde P300 pourrait être au niveau du cortex pariétal et cingulaire et que des contributions spécifiques de la modalité visuelle viendraient des cortex temporal inférieur et pariétal supérieur (Linden, 2005). Sur le plan neurochimique, il a été suggéré que la P300 puisse refléter l'activité neuromodulatrice du système à norépinéphrine du locus coeruleus (Nieuwenhuis, Aston-Jones, & Cohen, 2005, pour revue Hajcak et al, 2010). Concernant la LPP, des recherches combinant des méthodes de potentiels évoqués et d'IRM fonctionnelle trouvent que la LPP serait corrélée avec des activités dans les aires visuelles secondaires dans les régions occipitales, inféro-temporales et pariétales (Sabatinelli, Keil, Frank, & Lang, 2013; Sabatinelli et al., 2007). Par ailleurs, bien qu'aucune contribution directe de l'amygdale n'ait été trouvée, il est suggéré qu'elle pourrait contribuer à la LPP via des projections ré-entrantes dans le cortex visuel (Lang & Bradley, 2010). Ces ondes surviennent à des étapes avancées de traitement engageant des processus amodaux de plus haut niveau d'intégration de l'information (Olofsson et al, 2008 ; Hajcak et al, 2010). Toutes deux seraient sensibles à la pertinence motivationnelle des stimuli pour l'individu ainsi qu'à leur niveau d'activation (pour revue Hajcak et al, 2010 ou encore Olofsson et al, 2008). Ainsi, leurs amplitudes sont plus importantes pour les stimuli émotionnels que pour les stimuli non-émotionnels et d'autant plus que le degré d'activation des stimuli augmentent (figure 7) (pour la P300 : Delplanque et al., 2004; Delplanque, Silvert, Hot, Rigoulot, & Sequeira, 2006; Delplanque et al., 2005; Keil et al., 2002; Schupp et al., 2000 ; Pour la LPP : Bradley et al., 2007; Cuthbert et al., 2000; Keil et al., 2002; Olofsson & Polich, 2007; Schupp et al., 2006, 2004).

Un biais de négativité est parfois rapporté pour ces composantes (Delplanque et al., 2006; Ito, Larsen, Smith, & Cacioppo, 1998; Kisley, Wood, & Burrows, 2007; Wood & Kisley, 2006) mais cet effet reste assez marginal et viendrait, selon certains auteurs, d'un confondu entre valence et niveau d'activation (Bradley, 2009; De Cesarei & Codispoti, 2011). Ces ondes traduiraient la mise en œuvre de processus d'allocation des ressources attentionnelles (Hajcak et al., 2010; Hajcak, Moser, & Simons, 2006; Lang et al., 1998; Moser, Hajcak, Bukay, & Simons, 2006; Schupp et al., 2006) lesquelles augmenteraient les traitements perceptuels. Une des principales différences entre ces ondes tient au fait que la P300 est particulièrement sensible à la nouveauté contrairement à l'onde LPP qui résiste au phénomène d'habituation (pour revue voir Hajcak et al, 2010). L'onde LPP peut aussi être vue comme le

reflet de l'engagement motivationnel de l'individu pour le stimulus et de processus conscient d'évaluation de la pertinence émotionnelle (Bradley, 2009; Codispoti et al., 2007; Ferrari, Bradley, Codispoti, & Lang, 2011; Ferrari, Codispoti, Cardinale, & Bradley, 2008; Hajcak et al., 2010). Il a été montré que les effets sur la LPP sont indépendants de la taille des stimuli (De Cesarei & Codispoti, 2006) et de leurs caractéristiques perceptuelles (Bradley et al., 2007).

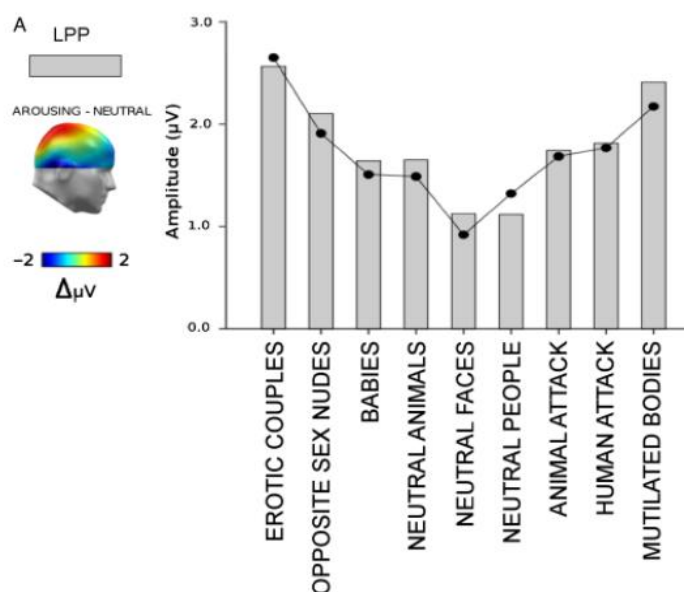


Figure 7 : Amplitude de la LPP pour diverses catégories d'images positives (à gauche) et négatives (à droite) hiérarchisées selon leur degré d'activation (les plus hauts niveaux sont aux extrémités de l'axe). Extrait de Bradley et al., (2009)

4.2. Modulations induites par le contexte motivationnelle

Les caractéristiques intrinsèques du stimulus ne sont pas les seuls facteurs de modulation du traitement émotionnel. L'état affectif de la personne constitue un de ces facteurs. Après une induction d'un état de stress ou d'anxiété, des études ont ainsi montré une augmentation de l'activité de l'amygdale pour tous les types de stimuli (négatifs, positifs, neutres) (Cornwell et al., 2011; van Marle, Hermans, Qin, & Fernández, 2009) et particulièrement pour les stimuli neutres et positifs.

L'évaluation cognitive qu'elle soit en lien ou non avec le traitement émotionnel est un facteur supplémentaire de modulation du traitement émotionnel comme en attestent différentes études. Par exemple, dans une tâche de catégorisation non affective (*e.g.*, catégorisation de genre hommes/femmes ou scènes d'intérieur/extérieur), une diminution de l'activité amygdalienne est observée pour les stimuli négatifs et positifs en contraste à une

tâche de discrimination émotionnelle, suggérant une réactivité émotionnelle plus faible de l'individu (Hariri, Mattay, Tessitore, Fera, & Weinberger, 2003; Keightley et al., 2003; Mathews, Yiend, & Lawrence, 2004). En EEG, quelques études ont montré une réduction de l'amplitude de la LPP pour des stimuli émotionnels lors de la réalisation de tâches non affectives (compter le nombre de personnes présentes sur l'image) en contraste avec des tâches de jugements affectifs (Codispoti, Ferrari, Cesarei, & Cardinale, 2006; Hajcak et al., 2006). Des résultats similaires ont été obtenus pour l'onde P300 (Krolak-Salmon, Fischer, Vighetto, & Mauguière, 2001). Au regard de ces résultats, nous pourrions dire que la pertinence de la dimension affective, et donc de l'émotion pour la tâche semble être un modérateur. Dans ce sens, des auteurs montrent que la LPP est plus ample lorsque les stimuli émotionnels sont des « cibles », et donc pertinents pour la tâche, par rapport à la condition où ils ne le sont pas (Antal, Kéri, Kovács, Janka, & Benedek, 2000; M Batty & Taylor, 2002; Codispoti et al., 2006; De Cesarei & Codispoti, 2006; Ferrari et al., 2008). Il est à noter qu'une augmentation des traitements perceptuels pour les stimuli émotionnels par rapport aux stimuli neutres semble être conservée quelle que soit la tâche. Une étude montre la préservation d'un biais émotionnel sur la LPP que le tâche soit de perception passive, à réaliser en même temps qu'une tâche facile de calcul mental, ou en même temps qu'une tâche plus difficile de calcul mental (Hajcak, Dunning, & Foti, 2007). Néanmoins, ce biais émotionnel indépendant de la difficulté de tâche semble exister pour des images présentées en position centrale mais pas pour des images présentées en vision périphérique. Pessoa et collaborateurs (Pessoa, McKenna, Gutierrez, & Ungerleider, 2002; Pessoa, Kastner, & Ungerleider, 2002) notent, par ailleurs, une disparition de ce biais émotionnel lorsque la tâche de discrimination proposée aux participants devient particulièrement difficile à réaliser.

4.3. Modulations volontaires dans les traitements émotionnels : la régulation émotionnelle

La nature de la tâche semble être une source de modulation dans les traitements et cela, en interactions avec les propriétés affectives de stimuli. L'engagement attentionnel envers les stimuli va être modulé de façon inconsciente et involontaire. Il existe, toutefois, un type de tâche, dite de « régulation émotionnelle » dans lesquelles le sujet module volontairement le traitement des stimuli et les processus émotionnels. Cette régulation consiste à diminuer ou renforcer consciemment l'impact émotionnel d'un stimulus à l'aide de diverses stratégies.

Au regard des travaux de Gross (1998) sur la régulation émotionnelle, plusieurs stratégies sont possibles. Selon ce modèle, elles sont aux nombres de 5 et diffèrent à la fois par leur but mais surtout par le moment où elles peuvent être mises en place par rapport à l'instant où la situation se présente, comme schématisé dans la figure 8.

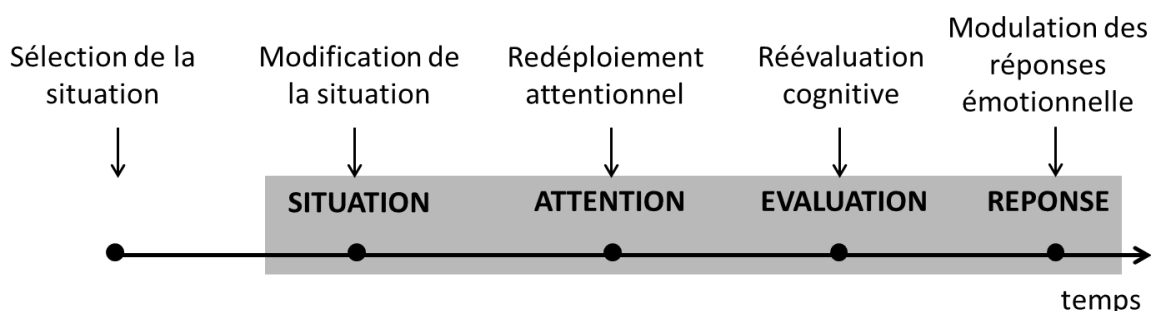


Figure 8 : Modèle des processus de régulation émotionnelle. Extrait de Gross (1998). Ce modèle propose que l'émotion peut être régulée à 5 étapes du cycle émotionnelle.

La première stratégie de régulation est la « *sélection de la situation* ». Cette sélection se fait au moment où l'individu doit faire le choix de se confronter ou non à une situation donnée. La seconde est la « *modification de la situation* », et consiste à agir sur la situation pour la rendre plus à notre convenance (comme demandé au voisin de baisser le volume de la musique si celle-ci nous dérange). Ensuite, il est possible de « *modifier son déploiement attentionnel* » en se concentrant uniquement sur certains aspects de la situation. La stratégie de « *modification cognitive* » suppose, quant à elle, une réévaluation et donc une réinterprétation de la situation. Et finalement, la dernière stratégie possible est la « *modulation des réponses physiologiques et motrices* » induites par l'émotion, comme par exemple, l'inhibition de l'expression faciale, ou la retenue d'un mouvement du bras pour nous protéger le visage. Dans cette stratégie, la pratique d'exercices de relaxation et l'usage de drogues, de médicaments tels que les bêta-bloquants constituent une aide.

Les deux premières stratégies sont rarement étudiées au niveau expérimental. La suite de cette partie se concentrera donc sur les résultats mettant en jeu les 3 autres stratégies de régulation de type redéploiement attentionnel, de ré-évaluation de la situation et de suppression des réponses physiologiques et motrices.

L'efficacité de la mise en œuvre des 3 stratégies de régulation peut être évaluée par les ressentis du sujet auto-rapportés. Dans les cas où il est explicitement demandé au sujet de réguler des émotions négatives en réévaluant les situations, les participants rapportent une

intensité émotionnelle négative plus faible (Gross, 2002; Hajcak & Nieuwenhuis, 2006; Ochsner, Bunge, Gross, & Gabrieli, 2002).

Sur le plan cérébral, lors de la mise en œuvre de ces trois stratégies par des participants, des modulations de l'activité amygdalienne, du cortex cingulaire antérieur et des aires du cortex préfrontal ont été rapportées en comparaison avec des tâches de perception passive de stimuli émotionnels (Beauregard, Lévesque, & Bourgouin, 2001; Eippert et al., 2007; Ochsner et al., 2004; Urry et al., 2006; pour revue voir Ochsner & Gross, 2005). Il a été alors supposé que le contrôle cognitif réalisé sur la base des motivations de l'individu serait supporté par le cortex préfrontal lequel viendrait inhiber (ou amplifier) l'activité de l'amygdale par un effet top-down. Comme en attestent différentes études, l'activité relative de ces 2 structures dépendrait du type de stratégie de régulation. Lors d'une tâche de réévaluation cognitive, de nombreux auteurs observent une augmentation de l'activité du cortex préfrontal en même temps qu'une diminution de l'activité de l'amygdale et des réponses du système nerveux autonome du type électrodermal (Beauregard et al., 2001; Ochsner & Gross, 2005; Ochsner et al., 2004; Urry et al., 2006, 2009; Van Reekum et al., 2007). Un pattern inverse est, en revanche, observé en cas de consigne de suppression de la réponse émotionnelle (Goldin, McRae, Ramel, & Gross, 2008).

Au niveau du décours temporel de la régulation émotionnelle, ce n'est que tardivement, c'est-à-dire pour les composantes P300 et LPP, que des effets sont observés dans le traitement des stimuli. Dans une tâche de suppression émotionnelle, Moser et collaborateurs (2006) observent ainsi une diminution d'amplitude de la LPP par rapport à une tâche de perception simple. Le même résultat sur la LPP est observé dans un contexte de réévaluation cognitive pour diminuer l'impact d'émotions négatives (Hajcak & Nieuwenhuis, 2006). Afin de tester les effets d'une stratégie de type redéploiement attentionnel, Hajcak et collaborateurs (2009) ont utilisé une tâche où les participants devaient diriger leur attention vers des zones plus ou moins émotionnelles de l'image selon les conditions. Les auteurs ont ainsi observé une réduction de la LPP dans la condition où le regard était porté sur des zones non émotionnelles par rapport à la condition où le regard était orienté sur des zones émotionnelles.

4.4. Modèle attentionnel de traitement de l'information émotionnelle

Les modulations dans les traitements de l'information émotionnelle au niveau cérébral résultent d'une confrontation entre deux types d'attention. L'une, dite « exogène », est

automatique, involontaire et dépend des caractéristiques intrinsèques du stimulus (Hopfinger & West, 2006; Posner, Snyder, & Davidson, 1980). L'autre, dite « endogène », est volontaire et fait référence à des facteurs contextuels externes au stimulus tels que les buts de la tâche, l'humeur du participant, ses motivations (Folk, Remington, & Johnston, 1992; Posner et al., 1980). Ces deux types d'attention vont interagir lors du traitement des stimuli et conduire à la focalisation ou non de l'attention sur tel ou tel stimulus. Ainsi, une préférence attentionnelle peut être mise sur un stimulus qui se confond avec son environnement parce qu'il est pertinent pour l'individu (Vogt, De Houwer, & Crombez, 2011). A contrario, un individu peut ne pas porter attention à un stimulus contrastant avec son environnement parce que celui-ci n'est absolument pas pertinent dans la réalisation de ses buts.

Plusieurs modèles cérébraux des traitements émotionnels ont alors été proposés afin de rendre compte des interactions émotion - cognition. Une des hypothèses les plus anciennes repose sur l'idée d'une voie sous-corticale spécifique au traitement émotionnel dans laquelle l'amygdale serait centrale et qui justifierait la rapidité de traitement des stimuli émotionnels. Sur la base de cette hypothèse, Ledoux (Ledoux, 2000; Ledoux, 1996) a proposé que le traitement de l'information émotionnelle se réalise en deux étapes sous-tendues par deux voies de traitements distinctes, comme présenté dans la figure 9a. La première voie sous corticale, dite « courte », passant par le colliculus supérieur et le pulvinar (dans le cas d'une information visuelle) permettrait un acheminement rapide d'une information grossière jusqu'à l'amygdale. Une première interprétation du stimulus pourrait donc être réalisée rapidement et une première réponse émotionnelle automatique pourrait être donnée de sorte à préparer l'organisme à réagir rapidement si nécessaire. En parallèle, une deuxième voie corticale, plus lente, passant par le cortex visuel (dans le cas de stimuli visuel) jusqu'au cortex préfrontal permettrait, quant à elle un traitement « conscient » et plus détaillé du stimulus prenant en compte des informations plus endogènes (but de la tâche, besoins de l'individu...). Ces informations seraient transmises à l'amygdale via des afférences avec le cortex préfrontal médian et le cortex visuel, permettant une modulation de la première réponse émotionnelle rapide. Ce modèle peut expliquer pourquoi une perception consciente des stimuli émotionnels n'est pas nécessaire pour avoir une réponse émotionnelle et peut justifier l'augmentation de l'activité amygdalienne lors de la présentation subliminale d'images émotionnelles (Williams, Morris, McGlone, Abbott, & Mattingley, 2004). Néanmoins, plusieurs arguments vont à l'encontre de ce modèle, en particulier, concernant la temporalité des traitements et « l'automaticité » de la voie sous corticale. En effet, plusieurs études chez les primates

montrent que les réponses de l'amygdale propres à l'émotion, et donc de la voie sous-corticale du traitement émotionnel, ne sont pas plus précoces que les réponses corticales (pour revue, voir Pessoa & Adolphs, 2010). D'autres modèles ont donc été proposés et présupposent la possibilité d'un traitement rapide au niveau cortical et d'une influence précoce des structures préfrontales sur le traitement émotionnel.

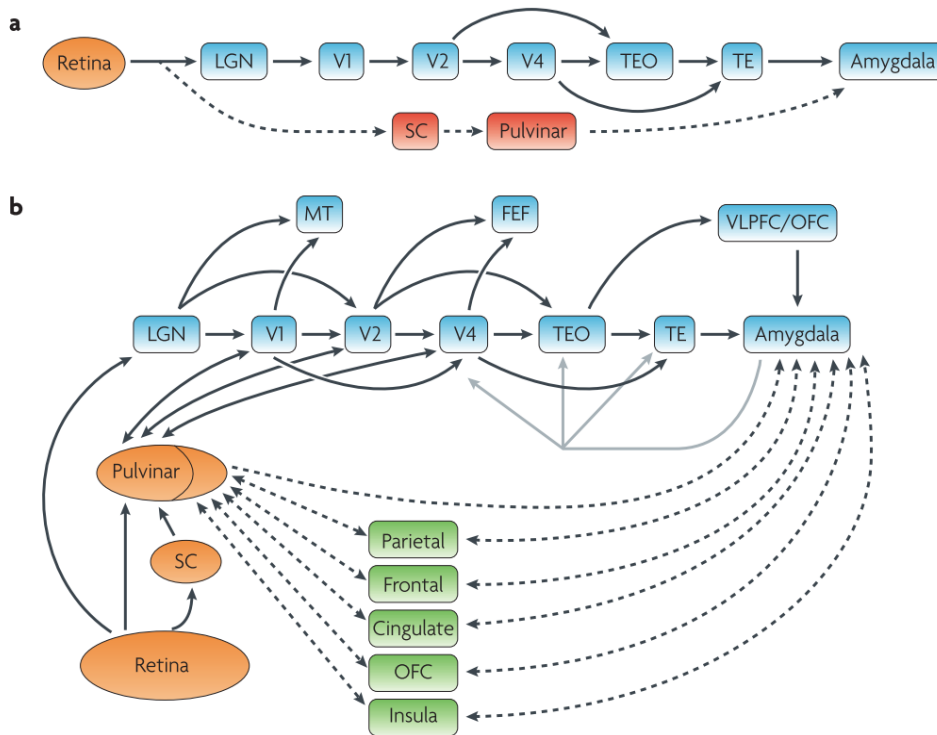


Figure 9: Modèle de traitement de l'information visuelle émotionnelle. Extrait de Pessoa et Adolphs (2010). a) Diagramme schématique représentant le modèle séquentiel classique de traitement de l'information le long de la voie CGL–V1–V2–V4–TEO–TE, bien que cette organisation ne soit pas strictement hiérarchique. Selon l'hypothèse standard, une voie sous-corticale impliquant le colliculus supérieur et le noyau pulvinar du thalamus fournit un accès direct et automatique à l'amygdale. b) Proposition alternative de Pessoa & Adolphs (2010) proposant l'existence de multiples voies, comprenant à la fois des voies alternatives (par exemple du LGN à l'aire MT) et des raccourcis (par exemple de V2 à TEO). Le flux de traitement de l'information visuelle correspondrait à de multiples vagues d'activation qui initieraient et affinaient les réponses des cellules à une étape donnée de traitement. En vert : les structures frontales et en bleu (VLPFC et OFC) participant aux traitements avec des connexions bi-directionnelles avec l'amygdale. Abréviations: CGL, corps genouillé latéral; V, aires visuelles; MT, aire temporelle moyenne; TE, aire temporelle inférieure; TEO, aire temporelle inférieure; VLPFC, cortex préfrontal ventro-latéral; OFC, cortex orbito-frontal; FEF, « frontal eye-field » ou aire frontale oculaire.

Pessoa et Adolphs (2010) propose un modèle « multi-voies » qui prend en compte les réponses rapides observées dans le cortex préfrontal ainsi que la possibilité d'une transmission directe de l'information visuelle entre le pulvinar et le cortex préfrontal sans passage par le cortex visuel telle que l'ont montré Rudrauf et collaborateurs (2008) dans une étude de connectivité dynamique causale (DCM). Dans ce modèle, l'évaluation de la pertinence d'un stimulus résulterait d'un traitement de l'information au sein de nombreuses

voies de traitement parallèles qui interagiraient entre elles, comme présentées en figure 9b. Dans le cadre de ce modèle, les auteurs proposent, pour l'amygdale, un rôle de coordinateur de ces multiples traitements corticaux. Les nombreuses alternatives et raccourcis neuro-anatomiques dans la voie visuelle ventrale (entre aires visuelles précoces et aires visuelles tardives) et entre le corps genouillé latéral et les aires visuelles plus tardives tendent à conforter ce modèle (Barrett & Bar, 2009; Luiz Pessoa & Adolphs, 2010).

A mi-chemin entre ces deux modèles, un modèle très récent de traitement émotionnel a été proposé par Pourtois et collaborateurs (2013). Ce modèle apparaît particulièrement intéressant du fait qu'il prend en considération le lien avec le système attentionnel et permet de préciser en quoi l'orientation attentionnelle et le traitement de stimuli émotionnels vont résulter d'une intégration compétitive d'effets de type bottom-up et de type top-down relatifs à l'attention exogène et l'attention endogène respectivement (McMains & Kastner, 2011; Ranganath & Rainer, 2003; Theeuwes, 1994; Wolfe & Horowitz, 2004). Ce modèle (figure 10) conserve l'idée de deux voies de traitement proposée par Ledoux (1996), l'une sous-corticale et l'autre corticale, mais ces deux voies s'exécuteraient en parallèle et interagiraient et leurs effets sur les aires sensorielles seraient additifs. L'information dans la voie sous-corticale serait acheminée jusqu'à l'amygdale via la rétine et le pulvinar (dans le cas d'une information visuelle). Sur la base de cette information, l'amygdale évaluerait la pertinence biologique du stimulus (indépendamment de la valence) et contribuerait à augmenter (ou non) en retour le traitement perceptuel du stimulus réalisé dans les aires sensorielles selon cette évaluation et ce, grâce à des connections directes entre ces aires et l'amygdale (Pourtois et al., 2013). En parallèle, se déroulerait un traitement plus cortical de l'information laquelle serait acheminée jusqu'au cortex préfrontal de manière grossière directement depuis le pulvinar dans un premier temps et de manière plus fine via le cortex visuel dans un deuxième temps (Pessoa & Adolphs, 2010; Pourtois et al., 2013; Rudrauf et al., 2008). Le cortex préfrontal réaliserait une évaluation de la pertinence motivationnelle du stimulus et de sa valeur affective en fonction des buts, besoins et plans de l'individu. En retour, le cortex préfrontal viendrait lui aussi moduler indirectement les traitements perceptuels réalisés par les aires sensorielles par des influences top-down via les aires post-pariétales qui interviennent entre autre dans l'orientation du regard. Les aires sensorielles seraient donc soumises à deux types d'influence, l'une relative à une attention exogène, l'autre à une attention endogène, sous-tendus par des corrélats neuronaux distincts. Il en résulterait, au sein de ces aires sensorielles, une compétition entre ces deux types d'influence qui pourraient se potentialiser comme s'annuler.

Les deux voies de traitement seraient aussi en interaction directe et s'influenceraient mutuellement via des connections entre le cortex orbitofrontal/ventromédian et l'amygdale. Il faut souligner que, selon ce modèle, le traitement sous cortical via l'amygdale serait spécifique aux stimuli émotionnels, alors que la voie corticale, s'exécutant en parallèle, s'utiliserait pour tout type de stimulus.

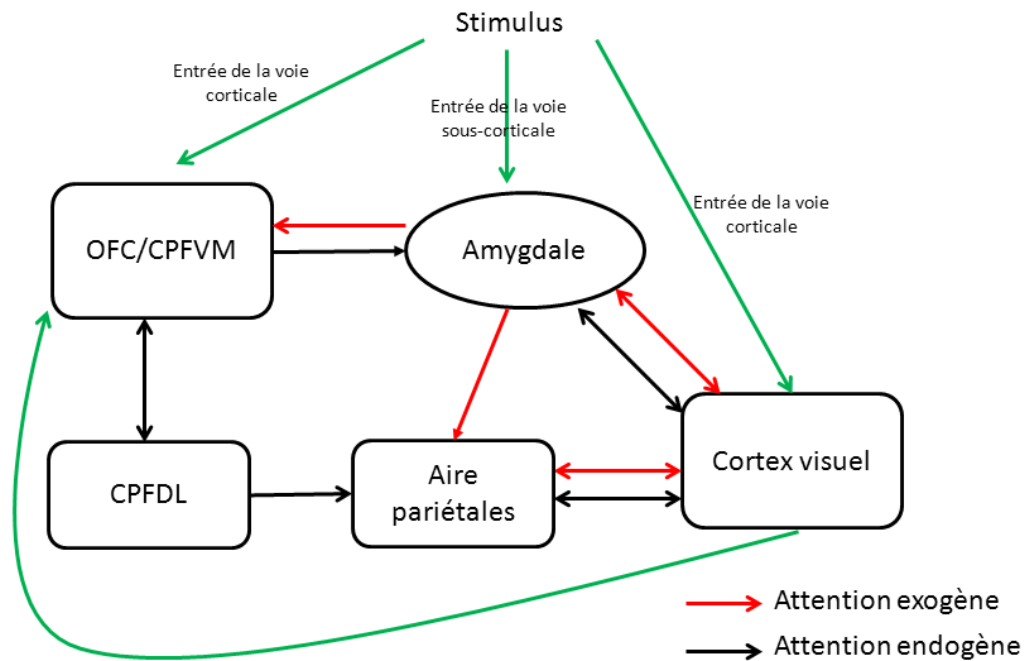


Figure 10 : Modèle attentionnel et interaction entre structures cérébrales. Inspiré de Pourtois (2013). OFC : Cortex Orbito-frontal. CPFVM : Cortex Préfrontal ventro-médian. CPFDL : Cortex Prefrontal dorso-latéral.

Résumé

Les émotions sont importantes pour la survie de l'individu et son adaptation à l'environnement (Dolan, 2002). Leurs rôles sont multiples : orienter l'attention, préparer l'individu à agir, le guider dans ses comportements, etc. Néanmoins, l'émotion reste un concept difficile à définir. Alors que les premiers philosophes séparaient la raison de l'émotion, les théories actuelles tendent à les réunir et conçoivent leur interaction comme nécessaire à l'émergence d'un épisode émotionnelle. Deux courants s'opposent. D'un côté les théories qui mettent l'accent sur une primauté de l'affect sur la cognition, telles que les théories de l'émotion incarnées (Niedenthal, 2007), de l'autre les théories qui proposent que l'émotion émerge de processus cognitif tel que les théories de l'évaluation cognitive. De ces dernières, nous retiendront la théorie des « processus composantes » (Sander & Scherer, 2009) pour laquelle l'émotion émerge d'une succession d'« évaluations cognitives », qui constituent une des composantes de l'émotion, et qui sous-tendent et sont influencées par les composante de « tendance à l'action », de « réponse motrices », de « sentiment subjectif » et de « réponses physiologiques ». D'autres auteurs définissent les émotions comme étant des états de « tendance à l'action », états préparatoires qui vont faciliter certains comportement pour s'adapter à un stimulus émotionnelle (Frijda et al., 1989).

De nombreuses études montrent que les informations émotionnelles sont traitées de manière privilégiée au niveau cérébral par rapport aux informations non-émotionnelles. L'émotion provoque une augmentation des traitements perceptuels et facilite les réponses motrices. Les stimuli émotionnels sont détectés plus rapidement que les stimuli neutres, sont plus facilement mémorisés. Au sein des informations émotionnelles, il apparaît, par ailleurs, une préférence des informations négatives par rapport aux informations positives, appelée biais de négativité. L'engagement attentionnel et motivationnel pour les stimuli négatifs seraient plus important que pour les stimuli positifs et neutres comme le montrent des études en électroencéphalographie (*e.g.*, Ito et al., 1998).

Toutefois, cet engagement de l'attention plutôt automatique provoquée par les caractéristiques affectives des stimuli, appelé « attention motivée » (Lang et al., 1992), est à distinguer d'une attention « volontaire » relative aux motivations de l'individu et aux consignes de la tâche (Pourtois et al., 2013). Ces deux types d'attention relèvent de processus distincts caractérisables au niveau neuronal mais qui sont en interaction lors du traitement de

stimuli émotionnels. Cette compétition entre les deux types d'attention se jouerait principalement entre l'amygdale, qui interviendrait principalement dans l'évaluation de la pertinence émotionnelle des stimuli, et le cortex préfrontal dont l'orbito-frontal, qui permettrait une évaluation de la valeur affective et motivationnelle des stimuli. Ces deux structures interconnectées s'influencent mutuellement et moduleraient directement ou indirectement l'activité des structures sensorielles (Pourtois et al., 2013).

Un stimulus émotionnel peut donc échouer à capturer l'attention dans certaines conditions, comme dans des tâches où il n'est pas pertinent pour celle-ci. La régulation émotionnelle peut aussi contribuer à moduler le traitement de stimuli émotionnels en exacerbant la réponse émotionnelle ou encore en la diminuant via diverses stratégies de régulation (Hajcak et al., 2010). A l'inverse, un contexte affectif, une certaine humeur pourrait augmenter l'attirance pour un certain type de stimuli émotionnels (Smith et al., 2006).

Chapitre III - Vieillissement et traitements émotionnels : « effets de positivité »

Préambule

N'avez-vous jamais été surpris de voir à quel point certaines personnes âgées peuvent paraître heureuses ? Ce comportement peut même vous sembler déroutant. Comment font ces personnes pour conserver une telle joie de vivre alors que le contexte dans lequel évolue la personne âgée n'y est pas favorable : isolement social dû à une perte d'autonomie, déclin physique et cognitif même en l'absence de pathologies spécifiques liées à l'âge, décès de proches, etc. Présentées en début de ce chapitre, plusieurs études du domaine de la psychologie sociale ont confirmé que l'humeur devient plus positive avec l'âge, ce qui laisse suggérer des modifications dans les traitements émotionnels au cours du vieillissement. La suite de ce chapitre consistera en une revue de la littérature d'expériences en psychologie cognitive portant sur l'observation des modulations liées à l'âge dans les traitements émotionnels et leurs conséquences sur certaines fonctions cognitives telles que la mémoire, l'attention et la prise de décision. Nous verrons que des changements dans les préférences attentionnelles pour certaines valences émotionnelles des stimuli apparaissent au cours du vieillissement sain et se traduisent par des « effets de positivité » chez les personnes âgées. Dans un troisième temps, seront présentées des études de neuro-imagerie ayant cherché à comprendre les raisons de ces effets et à identifier leurs corrélats cérébraux.

1. Historique de l'étude des émotions dans le vieillissement sain

Les premières études s'intéressant aux liens entre émotions et vieillissement sont issues du domaine de la psychologie sociale et mettent en évidence un paradoxe plutôt surprenant. En effet, on pourrait s'attendre à ce que l'humeur des personnes âgées soit affectée négativement compte tenu d'un certain nombre d'éléments survenant avec l'âge: déclin physique et cognitif même en l'absence de pathologies spécifiques liées à l'âge, plus grand isolement social dû à une perte d'autonomie, perte d'êtres proches, etc. Pourtant, les personnes âgées n'apparaissent pas comme malheureuses (Baltes & Baltes, 1990; Brandtstädter, 1994; Filipp, 1996; Staudinger, Fleeson, & Baltes, 1999) ; elles rapportent même un niveau de bien-être satisfaisant (Borgatta & Foss, 1979; Cameron, 1975; Haug,

Belgrave, & Gratton, 1984; Larson, 1978; Schulz, 1985). En effet, une étude réalisée sur un très grand échantillon constitué de 32029 américains (Davis & Smith, 1995) montre que la proportion de personnes se disant « très heureuses » augmente avec l'âge, passant de 28% pour la tranche d'âge 18-27ans à 38% pour la tranche 68-77 ans. Une étude plus récente montre que même les centenaires ont un haut niveau de bonheur (Jopp & Rott, 2006).

Dans une étude clé dans le domaine du vieillissement et des émotions réalisée sur 2727 personnes, allant de 25 à 74 ans, Mroczek & Kolarz (1998) soutiennent ces résultats. Dans cette étude, des analyses de corrélation montrent, qu'en vieillissant, les personnes rapportent ressentir plus d'affects positifs au cours de leurs journées et moins d'affects négatifs. D'autres études longitudinales et transversales, un peu plus récentes, confirment une partie de ces résultats et observent aussi que les personnes âgées éprouvent moins d'émotions négatives en termes de fréquence (mais pas en termes d'intensité) que les plus jeunes (Carstensen, Pasupathi, Mayr, & Nesselroade, 2000; Charles, Reynolds, & Gatz, 2001). Toutefois, contrairement à l'étude de Mroczek & Kolarz (1998), ces études n'observent pas une augmentation des expériences positives (Charles et al., 2001; Mroczek, 2001). Ainsi, prises dans leur globalité, ces études suggèrent que l'âge influence la balance affects positifs/ affects négatifs ressentis au cours de la journée. Cet effet pourrait être à l'origine du plus haut niveau de bien-être observé chez les personnes âgées.

Pour que le vieillissement s'accompagne d'un changement de fréquence des expériences positives et/ou négatives, on peut supposer qu'un traitement différentiel avec l'âge des situations émotionnelles est nécessaire. Depuis le début des années 2000, un très grand nombre d'études en psychologie expérimentale a cherché à évaluer l'influence de l'âge sur le traitement émotionnel, ainsi que ses conséquences sur divers processus cognitifs tels que la mémoire, l'attention et la prise de décision en fonction de la nature émotionnelle des stimuli à traiter. Plusieurs expériences réalisées sur sujets jeunes dans ce domaine ont montré l'existence d'un biais émotionnel dans le sens où les stimuli émotionnels sont privilégiés par rapport aux stimuli non-émotionnels. Certaines études sur sujets jeunes tendent aussi à montrer une plus grande facilitation dans le traitement des stimuli négatifs par rapport aux stimuli positifs (biais de négativité). Qu'en est-il au cours du vieillissement sain ?

2. Les modulations relatives aux traitements émotionnels en psychologie expérimentale

2.1. Les études sur la mémoire émotionnelle

Le lien étroit et réciproque qu'entretient l'amygdale avec l'hippocampe laisse suggérer qu'il existe des facilitations d'encodage et de rappel de stimuli émotionnels ou d'événements autobiographiques. Ces facilitations dépendent de la valence des stimuli et évoluent avec l'âge comme en atteste toute une série d'études. Un récapitulatif de ces études est donné dans le tableau 1. Il est actuellement admis que les performances de mémorisation des personnes âgées sont globalement plus faibles que celles des personnes jeunes suite à des pertes de capacités cognitives (Salthouse, Fristoe, McGuthry, & Hambrick, 1998; Salthouse, 2010, 2011) (voir Chapitre I, 1.2). Toutefois, il apparaît que leurs performances mnésiques sont fonction de la valence des stimuli.

La plupart de ces études montrent qu'il existe un biais émotionnel dans la mémorisation et que ce biais est préservé avec l'âge (Charles et al., 2003). Cela se traduit par un nombre plus important de stimuli émotionnels (positifs et négatifs) correctement rappelés ou reconnus par rapport aux stimuli neutres, que ce soit pour des images (Charles, Mather, & Carstensen, 2003, exp. 1; Denburg, Buchanan, Tranel, & Adolphs, 2003; Emery & Hess, 2008; Kensinger, Brierley, Medford, Growdon, & Corkin, 2002; Mather, Knight, & McCaffrey, 2005, exp. 1; St Jacques, Dolcos, & Cabeza, 2009; Tomaszczyk, Fernandes, & Macleod, 2008) ou des mots (Grühn, Scheibe, & Baltes, 2007; Grühn, Smith, & Baltes, 2005; Kensinger, 2008 exp 1).

En revanche, il apparaît que la mémorisation des stimuli négatifs par rapport aux stimuli positifs évolue avec l'âge. Certaines études utilisant des images de scènes naturelles à rappeler ou à reconnaître montrent ainsi, avec l'âge, une chute des performances pour les scènes négatives et donc du biais de négativité (Charles et al., 2003 exp 1; Emery & Hess, 2008; Grühn et al., 2007), au bénéfice, dans certains cas, d'une facilitation des scènes visuelles positives, qui se traduit par un biais de positivité (Charles et al., 2003, exp 2; Kwon, Scheibe, Samanez-Larkin, Tsai, & Carstensen, 2009; Leigland, Schulz, & Janowsky, 2004; Mather et al., 2005; Mikels, Larkin, Reuter-Lorenz, & Cartensen, 2005; Spaniol, Voss, & Grady, 2008). L'étude réalisée par Charles et collaborateurs (2003) et dont les résultats sont présentés dans la figure 11 illustre cette inversion. Une facilitation à mémoriser les stimuli

positifs par rapport aux négatifs avec l'âge est aussi observée lorsque les stimuli sont des visages ou des mots (Charles et al., 2003; Kensinger, 2008; Leigland, Schulz, & Janowsky, 2004; Mather & Carstensen, 2003).

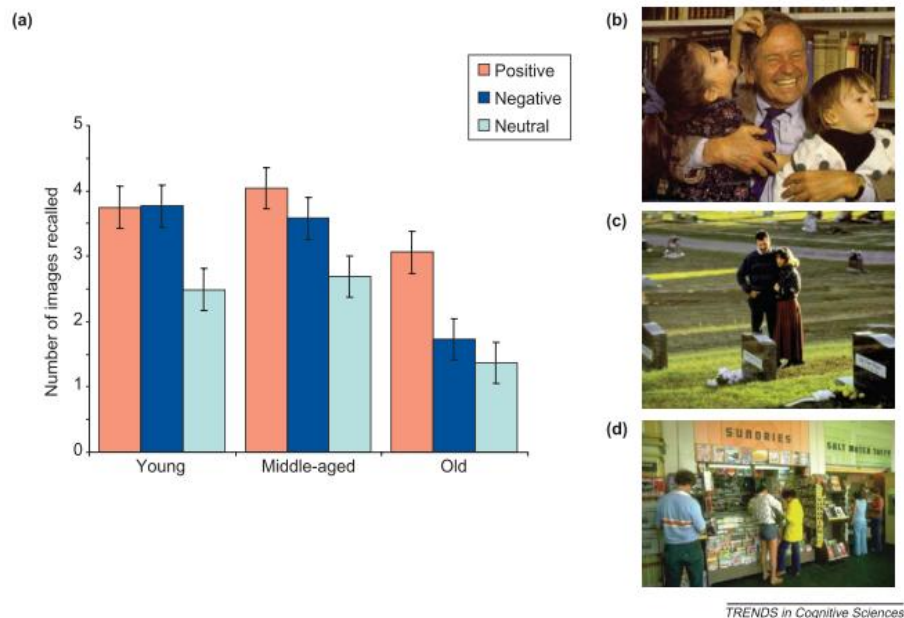


Figure 11: Histogramme du nombre moyen d'images rappelées par tranche d'âge, selon la valence des images. Résultat extrait de Charles et al. (2003). Les adultes âgés et d'âge intermédiaire ont rappelé significativement plus d'images positives que d'images négatives, alors qu'il n'y a pas de différence chez les sujets jeunes. Tous les groupes ont rappelé significativement moins d'images neutres que d'images positives et négatives.

La majorité des études sur la mémoire (tableau 1) révèle ainsi une augmentation de la préférence pour les stimuli positifs par rapport aux stimuli négatifs avec l'âge. Toutefois, cet effet ne semble pas systématique comme en attestent trois des études citées dans le tableau 1. Un renforcement du biais de négativité est même observé avec l'âge pour l'une d'entre elles (Comblain, D'Argembeau, & Van Der Linden, 2005) alors qu'aucun effet de l'âge sur les biais émotionnels n'est observé pour les deux autres (Denburg et al., 2003; Grühn et al., 2005; Kensinger et al., 2002). Les effets de positivité dépendraient de certains facteurs que nous expliciterons à la fin de cette introduction.

Tableau 1 : Principaux résultats des études comportementales ayant évalué l'influence de l'âge sur la mémoire émotionnelle.

P : Effets de Positivité, = : Pas d'effet de l'âge, N = Biais de négativité plus important avec l'âge; Nombre de participants (Moyenne ou étendue), SJ : Sujets Jeunes, SA : Sujets Agés, S : Variables des participants manipulées ; Stimuli (durée de présentation), C : Variable Contrôlée sur les stimuli. % rappel : Proportion d'images rappelées par rapport aux nombres d'images présentées, %reco. : Proportion d'images reconnues comme « déjà vues » par le participant.

Etude	Participants	Stimuli	Mesures	Effets
St Jacques et al. (2009) P	SJ : 15 (M=24) SA : 15 (M=70)	Images (3s) Neg, Neu	%rappel	Neg: SJ > SA
Mather et Knight (2005) expérience 2 P ou = selon les conditions	SJ : 25 (18-28) SA : 31 (65-85) S : niveau de contrôle cognitif = Haut et Bas	Images (2s) Pos, Neg C : Activation = Moyenne et Haute	% rappel x S	Haut niveau cognitif SJ: Neg > Pos SA: Pos > Neg Bas niveau cognitif SJ: Neg > Pos SA: Neg > Pos
Mather et al. (2005) expérience 3 P	SJ : 32 (18-39) SA : 32 (64-84)	Images (3s) Pos, Neg C : Activation = Moyenne et Haute	% rappel	SJ: Neg > Pos SA: Pos > Neg
Mather et al. (2005) expérience 1 P	SJ : 48 (18-29) SA : 48 (65-83)	Images (2s) Pos, Neg, Neu	% rappel	SJ: Neg > Pos > Neu SA: Pos > Neg > Neu
Tomaszczyk et al. (2008) P/=	SJ : 72 (18-25) SA : 72 (61-93)	Images (4s) Pos, Neg, Neu Pertinence = Haute et Basse C: Valence = Moyenne et Haute C: Activation = Moyenne et Haute	%rappel	SJ : Neg > Pos > Neu SA : Pos > Neg > Neu
			%rappel x pertinence	Haute pertinence SJ : Pos = Neg > Neu SA : Pos = Neg > Neu Basse pertinence SJ : Neg > Pos = Neu SA : Pos > Neg > Neu
Denburg et al. (2003) =	SJ : 26 (35-51) MA : 27 (52-69) SA : 27 (70-85)	Images (20s) Pos, Neg, Neu	%rappel	SJ = SA: Neg > Pos > Neu
Kensinger et al. (2002) =	SJ: 20 (M=20) SA: 20 (M=73)	Images (5s), Mots (3s) Pos, Neg, Neu C: Valence = Haute et basse C: Activation= Haute et basse	%rappel	SJ: Pos = Neg > Neu SA: Pos = Neg > Neu
Charles et al. (2003) expérience 1 P	SJ : 48 (18-29) MA : 48 (41-53) SA : 48 (65-80)	Images (2s) Pos, Neg, Neu C : Valence = Haute C : Activation = Moyenne	%rappel	SJ : Pos = Neg > Neu MA : Pos > Neg > Neu SA : Pos > Neg = Neu
			%reco	SJ : Neg > Pos = Neu MA : Pos = Neg = Neu SA : Pos = Neg = Neu
Charles et al. (2003) expérience 2 P	SJ : 32(19-32) SA : 32 (63-86)	Images(2s) Pos, Neg, Neu C : Valence = Haute C : Activation = Moyenne	%rappel	SJ : Neg > Pos > Neu SA : Neg = Pos > Neu
			%reco	SJ : Neg > Pos = Neu SA : Pos = Neg = Neu
Kwon et al. (2009) P	SJ : 52 (19-30) SA : 52 (65-81) S : Coréens	Images Pos, Neg C : Valence = Moyenne C : Activation = Moyenne	%rappel	SJ : Neg > Pos SA : Pos > Neg
			%reco	SJ : Neg > Pos SA : Pos > Neg

Suite page suivante

Suite tableau1

Etude	Participants	Stimuli	Mesures	Effets
Kensinger (2008) Expérience 1 P ou = selon les conditions	SJ : 30 (18-35) SA : 30 (64-80)	Mots (5s) Pos, Neg, Neu C : Activation Haute et Basse	% rappel	Haute SJ = SA : Neg > Pos > Neu Basse : SJ : Neg > Pos > Neu SA : Pos > Neg = Neu
Grühn et al. (2005) =	SJ : 72 (18-31) SA : 72 (64-75)	Mots (SJ :1s, SA :3s) Pos, Neg, Neu C :Valence	%rappel	SJ = SA : Neg = Pos > Neu
Kennedy et al. (2004) P	109 (47-102)	Autobio. Pos, Neg	%rappel	SJ : Neg > Pos SA : Pos > Neg
Grühn et al.(2007) P	SJ : 48 (18-31) SA : 18 (63-77)	Images (800ms) Pos, Neg, Neu C : Valence = Moyenne C : Activation = Moyenne	%reco	SJ : Neg > Pos > Neu SA : Pos = Neg > Neu
Spaniol et al. (2008) 2008 P	SJ : 49 (M=22) SA : 48 (M=69)	Visages,Mots,Images (2s) Pos, Neg, Neu	%reco	Pos : SA > SJ
Kensinger (2008) Expérience 2 P	SJ : 30 (18-35) SA : 30 (64-80)	Mots (5s) Pos, Neg, Neu Activation = Haute et Basse	%reco	Haute activation SJ = SA : Neg > Pos Basse Activation SJ : Neg > Pos SA : Pos > Neg
Mather et al. (2003) P	SJ : 52 (18-35) SA : 52 (62-94)	Visage (1s) Joie, colère, tristesse	%reco	SJ : Neg = Pos SA : Pos > Neg
Leigland et al. (2004) P	SJ : 36 (17-29) SA : 36 (52-92)	Mots,Visages Pos, Neg, Neu	%rappel	Neg: SJ > SA
			% reco	Neg: SJ > SA
Comblain et al. (2005) N	SJ : 40 (17-31) SA : 40 (59-71)	Autobio. Pos, Neg, Neu	Clarté du souvenir	Pos: SJ = SA Neg: SA > SJ
Mikels et al. (2005) P	SJ : 20 (18-28) SA : 20 (64-80)	Images (5s) Pos, Neg, Neu C : Luminosité, Valence	% Bonne Réponses Comparaison de propriété d'images	SJ: Neg > Pos SA: Pos > Neg

Les effets de l'âge sur la mémoire ne semblent pas se limiter à la mémoire à court terme mais affectent aussi la mémoire personnelle à long terme. Lors du rappel d'évènements autobiographiques, les sujets âgés rappellent plus d'éléments positifs que négatifs par rapport à leur propre rappel réalisé des années (14 ans) plus tôt et comparativement à des sujets plus jeunes (Kennedy et al., 2004).

2.2. Les études sur les biais attentionnels

En raison de leur pertinence motivationnelle intrinsèque, les stimuli émotionnels capturent l'attention. De nombreuses études, répertoriées dans le tableau 2 et 3, se sont donc intéressées aux modulations de l'orientation de l'attention avec l'âge en fonction de la valence des stimuli à travers divers paradigmes.

Tableau 2 : Principaux résultats des études comportementales ayant évalué l'influence de l'âge sur le traitement de stimuli émotionnels en oculométrie. % tps sur l'image : durée passé à regarder l'image. % fixation : nombre de fixations sur l'image. % première fixation : proportion de première saccade oculaire sur l'image. P : Effets de Positivité, = : Pas d'effet de l'âge, N = Biais de négativité plus important avec l'âge ; Nombre de participants (Moyenne ou étendue), SJ : Sujets Jeunes, SA : Sujets Agés, S : Variables des participants manipulées ; Stimuli (durée de présentation), C : Variable contrôlée sur les stimuli.

Etudes en oculométrie				
Etude	Participants	Stimuli	Mesures	Effets*
Allard et al. (2008) P/=	SJ : 20 (M=22) SA : 20 (M=70)	Images appariées (2s) Pos, Neg, Neu C : Valence = Moyenne C : Activation = Moyenne	% fixation	SJ : Pos = Neg SA : Pos > Neg
Knight et al. (2007) =/P	SJ : 33 (18-29) SA : 27 (65-83)	Images appariées, Visages appariés (6s) Pos, Neg, Neu C : Valence = Haute C : Activation = Haute et Basse	% première fixation	SJ = SA : Neg > Pos
			% tps sur l'image	SJ : Neg > Pos SA : Pos > Neg
Rösler et al. (2005) P	SJ : 12 (M=27) SA : 12 (M=64)	Images appariées (5s) Pos, Neg, Neu C : Valence = Haute C : Activation = Haute	% saccade	Pos: SJ = SA Neg: SJ > SA
			% tps sur l'image	Pos: SJ = SA Neg: SJ > SA
Isaacowitz et al. (2006a) P	SJ : 37 (18-21) SA : 27 (57-84)	Visages appariés (8s) Colère, joie, tristesse, peur, neutre	% tps sur l'image	SA : Joie > neutre Colère: SJ > SA Peur : SJ > SA
Isaacowitz et al. (2006b) P/=	SJ : 35 (18-24) SA : 50 (61-85)	Visages appariés (2s) Joie, tristesse, neutre	% tps sur l'image	SJ : Tristesse > Neutre SA : Tristesse > Neutre SA : Joie > Neutre Joie: SA > SJ
Isaacowitz et al. (2009) =/P	SJ : 38 (18-21) SA : 41 (57-84)	Images appariées (1-4-8s) Colère, joie, neutres	% fixation	0-500ms : SJ = SA Tps supérieur à 500ms : SJ : Joie > Neutre SA : Joie > Neutre SA : neutre > colère

*Plusieurs type d'analyse peuvent être effectuer: une comparaison au sein d'un groupe d'âge entre deux catégories de stimuli e.g., SA: Joie>neutre; ou pour une catégorie de stimuli donnée, une comparaison entre les âges e.g., Joie : SJ>SA

Tableau 3 : Principaux résultats des études comportementales ayant évalué l'influence de l'âge sur le traitement de stimuli émotionnels dans des tâches de type « détection de cible » et « priming émotionnel ».
%identification : nombre de cibles correctement détectées

P : Effets de Positivité, = : Pas d'effet de l'âge, N = Biais de négativité plus important avec l'âge ; Nombre de participants (Moyenne ou étendue), SJ : Sujets Jeunes, SA : Sujets Agés, S : Variables des participants manipulées ; Stimuli (durée de présentation), C : Variable contrôlée sur les stimuli.

Tâches type « détection de cibles et priming émotionnel »				
Etude	Participants	Stimuli	Tâches Mesures	Effets*
Mather et al. (2003) P	SJ : 52 (18-35) SA : 52 (62-94)	Visage appariés (1s) Joie, colère, tristesse	« Dot probe » : Temps de réponse	Neg –Neu: SJ<SA Pos –Neu : SJ>SA
Lee et al. (2009) N/P	SJ : 103 (18-33) SA : 44 (55-87)	Visages, Mots, Images appariés (Temps de présentation: 50ms, et 1500ms) Neg (colère, tristes), Neu	« Dot probe » : Temps de réponse	SJ : Pas d'effet SA :50ms : Colère <Neu 1500ms : Colère> neu
Isaacowitz et al. (2006b) P/=	SJ : 35 (18-24) SA : 50 (61-85)	Visages appariés (2s) Joie, tristesse	« Dot probe » : Temps de réponse	Pas d'effet de l'âge
Leclercet al. (2008) N	SJ : 24 (18-22) SA : 24 (68-84)	Images Pos, Neg, Neu C : Valence = Haute et Basse C : Activation = Haute et Basse	Détection cible : Temps de réponse	SJ : Pos Haute activation > Pos Basse activation, Neg , Neu SA : Emotionnel> neutre
Mather et al. (2006) =	SJ : 33 (18-28) SA : 35 (65-82)	Visages Schématisques Menaçant, Non menaçant (joie,neutre)	Détection cible : Temps de réponse	Pas d'effet de l'âge
Goeleven et al. (2010) P	SJ : 27 (23-49) SA : 27 (67-82)	Visages appariés (4s) Pos, Neg,Neu	Détection de cible et catégorisation: Temps de réponse	Cible Pos – Distracteur Neg : SJ>SA
Steinmetz et al.(2010) P	SJ : 25 (18-25) SA : 22 (60-85)	Mots (60-100ms) Pos, Neg,Neu C : Valence =Haute C : Activation = Basse	Blink attentionnel : % identification	Neg : SJ>SA
Langley et al. (2008) P	SJ : 30 (19-30) SA : 30 (63-80)	Mots (84-116ms) Pos, Neg, Neu	Blink attentionnel : % identification	Pos: SA>SJ

*Plusieurs type d'analyse peuvent être effectuer: une comparaison au sein d'un groupe d'âge entre deux catégories de stimuli *e.g.*, SA: Joie>neutre; ou pour une catégorie de stimuli donnée, une comparaison entre les âges *e.g.*, Joie : SJ>SA
Dans les tâches de Dot Probe un temps de réaction court indique une attirance attentionnelle.

L'un des paradigmes les plus utilisés pour étudier les préférences attentionnelles consiste à enregistrer l'orientation du regard à l'aide de matériel d'oculométrie (*eye-tracking*) lors d'une tâche de perception passive où deux stimuli, différant par leur valence émotionnelle, sont appariés et présentés simultanément. De nombreuses études utilisant ce type de paradigme avec des images de scènes naturelles ou de visages rapportent un évitement attentionnel des stimuli négatifs avec l'âge. En effet, des fixations oculaires moins nombreuses et moins longues des stimuli négatifs par rapport aux stimuli neutres sont ainsi observées chez les personnes âgées comparativement aux jeunes (Isaacowitz, Allard, et al., 2009; Isaacowitz et al., 2006a; Knight et al., 2007; Rösler et al., 2005). Pour certaines de ces

études, cet évitement des situations négatives s'accompagne d'une attirance pour les stimuli positifs croissante avec l'âge, avec des temps de fixations oculaires plus longs sur les stimuli positifs par rapport aux stimuli neutres (Isaacowitz et al., 2006b) ou un nombre de fixations plus importants sur les zones d'intérêts des stimuli positifs (Allard & Isaacowitz, 2008). Néanmoins, il apparaît que, dans ces conditions appariées, l'évitement des stimuli négatifs et l'attirance pour les situations positives avec l'âge ne s'observent que tardivement après l'apparition des stimuli, soit à partir de 500 ms (Isaacowitz, Allard, et al., 2009) ; un biais de négativité semble être conservé chez les personnes âgées pour la première fixation oculaire (Isaacowitz, Allard, et al., 2009; Knight et al., 2007). De plus, une méta-analyse réalisée sur la base de ces études révèle que la réduction du biais de négativité avec l'âge (*i.e.*, l'évitement des stimuli négatifs) est plus importante que l'augmentation du biais de positivité (*i.e.*, l'attirance pour les stimuli positifs) (Murphy & Isaacowitz, 2008).

Il est à noter que dans ces études en eye-tracking, les participants réalisent des tâches passives de perception. Or, il a été montré que la tâche proposée peut jouer un rôle dans la modulation des traitements des stimuli émotionnels en modifiant volontairement l'orientation et l'engagement attentionnel (Chapitre II, 4). Afin d'évaluer dans quelle mesure les préférences attentionnelles liées aux propriétés émotionnelles des stimuli évoluent avec l'âge lors de tâches d'orientation attentionnelle (dans lesquelles les stimuli émotionnels sont pertinents pour la tâche), d'autres paradigmes ont été testés tels que les paradigmes NAP et de clignement attentionnel.

Le paradigme NAP (*Negative Affective Priming*) (Joormann, 2004; Tipper, 1985; Wentura, 1999) se place dans la continuité des études utilisant des paires de stimuli variant par leur valence émotionnelle. Dans ce paradigme, deux stimuli appariés sont présentés simultanément, l'un constituant la cible, indiquée au participant par un cadre qui l'entoure, l'autre constituant un distracteur. Le participant a pour consigne de catégoriser le plus vite possible la cible. Dans le cadre d'un paradigme NAP, Goeleven et collaborateurs (2010) ont utilisé des paires de visages émotionnels qui étaient soit de même valence (condition contrôle) soit de valences opposées (condition expérimentale). Ils ont montré chez les personnes âgées que les visages positifs cibles étaient catégorisés plus rapidement lorsqu'ils étaient associés avec un visage négatif distracteur plutôt qu'un visage positif, alors que le pattern inverse était observé chez les jeunes. Le traitement des visages cibles négatifs était, quant à lui, équivalent entre les deux conditions de distracteur (positif ou négatif) dans les deux groupes d'âge. Sur la base de ces résultats, il a donc été suggéré une diminution avec l'âge des capacités de capture

attentionnelle, et donc du pouvoir distracteur des stimuli négatifs vis-à-vis des stimuli positifs cibles, ce qui facilite, par voie de conséquence, le maintien de l'attention sur ces derniers.

Des études utilisant un paradigme de clignement attentionnel confortent cette hypothèse et montrent que la facilitation à détecter les cibles négatives classiquement observée chez les sujets jeunes disparaît chez les personnes âgées alors qu'aucun effet lié à l'âge n'est constaté sur les cibles positives (Langley et al., 2008; Steinmetz et al., 2010). Il est à noter toutefois que, dans le cadre de paradigmes moins complexes avec une charge cognitive plus faible, tels que des paradigmes de simple recherche visuelle ou de détection d'une cible parmi un ensemble de stimuli, les personnes âgées ne présentent pas plus de difficultés à détecter des cibles négatives que des cibles positives ; les unes comme les autres sont, par ailleurs, plus rapidement détectées que des cibles neutres (Leclerc & Kensinger, 2008; Mather & Knight, 2006).

Finalement, un dernier type de paradigme dit « *dot-probe* » (MacLeod, Mathews, & Tata, 1986) a été utilisé pour évaluer les préférences attentionnelles et l'évolution de ces préférences avec l'âge. Dans ce type de paradigme, deux stimuli dont l'un est émotionnel, l'autre non, sont présentés aux participants pour une durée prédéterminée. Suite à cette présentation, un point apparaît du côté d'un des deux stimuli et le participant a pour consigne de dire le plus vite possible de quel côté se trouve ce point. Pour ce type de tâche, la paire de stimuli émotionnels n'est pas pertinente pour la tâche mais sert d'amorce. L'hypothèse repose sur l'idée que le participant répondra plus rapidement si la cible apparaît à la place du stimulus vers lequel son attention a été attirée. En utilisant des visages positifs ou négatifs associés à des visages neutres, Mather & Carstensen (2003), ont ainsi mis en évidence une plus grande facilitation à répondre quand le point cible apparaissait à la place d'un visage positif et une inhibition plus importante pour la condition où le visage était négatif pour le groupe de sujets âgés, comparativement au groupe plus jeune. Une étude ultérieure montre, néanmoins, que ces différences liées à l'âge dépendent du temps de présentation de la paire de stimuli « amorce », puisque cette préférence pour les images positives chez les personnes âgées s'observe pour un temps de présentation de 1500 ms, mais non pour une présentation subliminale de 50 ms; dans ce dernier cas, un biais de négativité est plutôt observé (Lee & Knight, 2009).

Une étude vient nuancer ces résultats et démontre que les tailles d'effets concernant l'impact de l'âge sur l'orientation attentionnelle en fonction de la valence sont plus faibles

pour les paradigme de type dot-probe que pour d'autres paradigmes en oculométrie (Isaacowitz et al., 2006b). Dans cette étude, le paradigme de dot-probe (similaire à celui utilisé par Mather et al, (2003) n'a révélé aucun biais émotionnel pour les sujets jeunes, et seule une tendance à répondre plus vite à un point remplaçant un stimulus positif a été observée pour les sujets âgés Le paradigme en oculométrie, a, en revanche, mis en évidence, dans cette même étude, un plus grand évitement des visages négatifs avec l'âge et une attirance pour les visages positifs.

2.3. La prise de décision

Des études ont évalué les effets de l'âge sur les stratégies et raisonnements adoptés lors du processus de prise de décision, lesquels consistent souvent à choisir entre plusieurs options dont les valeurs émotionnelles et les effets à long terme diffèrent. Dans une étude dont le but était de sélectionner une assurance-vie parmi plusieurs propositions, sur la base des caractéristiques de différentes compagnies d'assurance fictives, Löckenhoff et Carstensen (2007) ont rapporté que les participants âgés, par rapport aux sujets jeunes, examinaient plus longuement et attentivement les options positives que les options négatives. Selon les auteurs, les personnes âgées prendraient davantage leurs décisions sur des critères de choix leur semblant positifs sans vraiment prendre en considération les aspects négatifs, alors que les sujets jeunes auraient une stratégie de décision plus fondée sur un compromis entre points négatifs et positifs (Löckenhoff & Carstensen, 2007). Dans une autre étude sur le choix de produits du quotidien, les auteurs ont demandé aux participants de lister les avantages et inconvénients de chaque produit. Les adultes âgés ont rapporté plus d'éléments positifs que de négatifs, comparativement aux sujets jeunes (Kim, Healey, Goldstein, Hasher, & Wiprzycka, 2008). D'autres études ont évalué la satisfaction des participants sur leur décision. Si l'on demande quelques jours ou quelques semaines plus tard aux participants d'évaluer la décision qu'ils ont prise, les personnes âgées montrent une plus grande satisfaction que les jeunes quant à leur choix (Kim et al., 2008; Löckenhoff & Carstensen, 2008; Mather et al., 2005).

Dans certaines situations, choisir entre plusieurs options ne peut se faire de manière rationnelle, à contrario des études précédentes. Dans ce type de situation, la mémoire émotionnelle va jouer un grand rôle puisqu'elle va influencer la prise de décision. Selon la conception incarnée des émotions, le processus émotionnel débute par une association entre le stimulus et des expériences passées de façon à permettre l'attribution d'une valence émotionnelle au stimulus qui aide à la décision (Bechara et al., 2000; Damasio, 1996). Lors de

ce processus d'association, le cortex ventro-médian évalue les différents scénarii possibles et l'amygdale engendre une ébauche de réponses somatiques anticipatoires qui sont appelées marqueurs somatiques (Damasio, 1996). Le stimulus va être ainsi marqué comme « bon » ou « mauvais » et l'individu sera guidé dans son choix par cette pré-réponse somatique. L'analyse de l'activité électrodermale a mis en évidence cette réponse somatique anticipatoire, qui précède la prise de décision, et montre des patterns différenciés selon la valeur affective du choix (Bechara et al., 2000; Damasio, 1996; Denburg et al., 2007). Lors d'une tâche d'« *Iowa Gambling Task* »² (IGT), bien que les capacités à choisir les paquets financièrement favorables à long terme soient comparables entre participants jeunes et âgés, il a été noté que l'amplitude de la réponse électrodermale recueillie juste avant la sélection d'un paquet gagnant sur le long terme était plus importante que pour les paquets perdants à long terme chez les personnes âgées (Denburg et collaborateurs 2005, 2006), et inversement chez les jeunes (Bechara et al., 2000). De plus, cette discrimination entre les paquets s'accroît au fur et à mesure de la tâche, ce qui montre un effet d'apprentissage et une prise en considération des conséquences des choix. Les auteurs concluent que les personnes jeunes prendraient leur décision de façon à éviter les émotions négatives, alors que les personnes plus âgées seraient attirées par ce qui procure des émotions positives ; cette interprétation rejoint les conclusions des études sur l'attention.

2.4. Conclusion des études comportementales et « effet de positivité »

La grande majorité des études sur le vieillissement dans le domaine de la mémoire ou de l'attention montre la préservation avec l'âge d'un traitement privilégié des stimuli émotionnels (positifs ou négatifs) par rapport aux stimuli non-émotionnels (neutres). En revanche, il apparaît que la prévalence des stimuli de valeur négative sur ceux de valeur positive, observée chez les jeunes, s'atténue avec l'âge à l'avantage des situations positives. Cette évolution dans le traitement émotionnel avec l'âge, appelée « effet de positivité » (Kennedy et al., 2004; Mather & Carstensen, 2005), a des conséquences aussi bien sur les capacités mnésiques et attentionnelles de l'individu que sur ses prises de décisions et sur la manière dont il prend ces

² IGT : Plusieurs paquets de cartes, souvent au nombre de quatre, sont présentés au participant qui doit choisir l'un d'entre eux. A chaque choix le participant reçoit un gain financier ou une perte. La probabilité d'occurrence des gains et des pertes est manipulée pour chacun des paquets, ainsi que leur montant. La sélection de ces paramètres est faite de telle sorte que deux des paquets sont gagnants à long terme avec de faibles amplitudes des gains et des pertes à chaque choix, tandis que les deux autres paquets sont perdants à long terme mais présentent une plus forte amplitude des gains et des pertes. Par effet d'apprentissage implicite, un sujet « sain » s'oriente au fur et à mesure de ses choix vers les paquets gagnants à long terme.

décisions. Ainsi, les personnes âgées rappellent et reconnaissent les stimuli de valence positive davantage que les stimuli de valence négative. Sur le plan attentionnels, elles semblent être plus attirées par les stimuli positifs, et évitent les stimuli négatifs. Leurs prises de décision seraient guidées par une attraction vers les aspects positifs (au détriment des aspects négatifs), alors que les choix des plus jeunes seraient davantage motivés par une stratégie d'évitement des émotions négatives.

Compte tenue de cette évolution du traitement émotionnel avec l'âge, différents auteurs se sont intéressés aux processus cérébraux sous-tendant cet effet et aux étapes de traitement influencées par l'âge en fonction de la valence émotionnelle de l'information.

3. Base neurale et neurophysiologique des effets de positivité

Afin de mieux comprendre les différences liées à l'âge en fonction du contenu émotionnel, diverses études en neuro-imagerie et de neurophysiologie ont exploré les effets de l'âge sur l'activité cérébrale lors d'un traitement émotionnel (pour revue voir Mather, 2012; Nashiro, Sakaki, & Mather, 2012; Samanez-Larkin et al., 2011). Les résultats de ces études sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

Nous avons vu précédemment l'importance du cortex préfrontal ainsi que des structures sous-corticales telles que l'amygdale dans les traitements émotionnels. Ces structures constituent donc les cibles privilégiées des différentes études en IRMf. Pour rappel, dans la plupart des modèles émotionnels, l'amygdale joue un rôle-clef dans le traitement de l'information, qu'elle soit un module d'extraction de la saillance de stimuli liée à leur intensité émotionnelle ou à leur pertinence, ou qu'elle constitue un module de traitement plus spécifique à certaines émotions négatives telle que la peur (Lindquist et al., 2011; Ohman et al., 2001; Sander, 2012).

Tableau 4 : Principaux résultats des études en IRMf ayant évalué l'influence de l'âge sur le traitement de stimuli émotionnels. Nombre de participants (Moyenne ou étendue), SJ : Sujets Jeunes, SA : Sujets Agés, S : Variables des participants manipulées ; Stimuli (durée de présentation), C : Variable contrôlée sur les stimuli.

Etude	Participants	Stimuli	Tâche	Mesures	Contraste	Structure cérébrales	Effets
Erk et al. (2008)	19 (19-54)	Image (8s) Neg, Pos, Neu C : Contenu	Perception visuelle	IRMf, activité	Neg- Neu	Amyg., VS, CPFDL, COF	Corrélation négative avec l'âge Corrélation positive avec l'âge
Leclerc et al. (2008)	SJ : 17 (19-31) SA : 20 (61-80)	Images d'objet (1s) Neg, Pos, Neu C : Valence = Moyenne C : Activation = Moyenne	Perception visuelle	IRMf, activité	Pos-Neg	CPFM	SA > SJ
Iidaka et al. (2002)	SJ : 12 (19-39) SA : 12 (62-72)	Visages (appariés) (2.5s) Joie, tristesse, colère, peur, dégoût, neutre C : Arousal/valence	Perception visuelle	IRMf, activité	Neg - Neu	Amyg. Gauche	SJ > SA
					Pos - Neu	Parahippo., GA, GL	SJ > SA
Fischer et al. (2005)	SJ : 24 (20-30) SA : 22 (70-80)	Visages (200ms) Colère, Neutre	Perception visuelle	IRMf, activité	Colère - Neu	Amyg., Hippo. (droit) Insula infero-ventrale (droite)	SJ > SA SA > SJ
Williams et al. (2006)	Adolescent : 60 (12-19) SJ : 59 (20-29) MA : 63 (30-49) SA : 60 (50-79)	Visages (500ms) Peur, joie, Neu	Perception visuelle	IRMf, activité	Peur - Neu	Amyg. CPFM	SJ > SA SA > SJ
					Joie - Neu	Amyg., CPFM	SJ > SA SJ > SA
Wright et al. (2006)	SJ : 18 (21-27) SA : 26 (62-81)	Visages (200ms) Peur, neutre	Perception visuelle	IRMf, activité	Peur-Neu	Amyg. Gyrus fusiform	pas d'effet de l'âge SJ > SA
				IRMf, volume		Amyg. droite	SJ > SA
Gunning-Dixon et al. (2003)	SJ : 8 (19-29) SA : 8 (57-79)	Visage (4s) Joie, tristesse, colère, peur, dégoût	Jugement émotionnel	IRMf, activité	Emotionnel-ligne de base	CPFDM CPFDL, CC Amyg, Hippo.	SA > SJ SJ > SA
Mather et al. (2004)	SJ : 17 (18-29) SA : 17 (70-90)	Images (3s) Neg, Pos, Neu C : Valence = Moyenne C : Activation = Moyenne	Jugement émotionnel	IRMf, activité	Neg-Neu	Amyg.	SJ > SA
Leclerc et al. (2011)	SJ : 20 (18-35) SA : 19 (64-81)	Mots, images (2.5s) Neg, Pos, Neu C : Valence = Haute C : Activation = Haute	Jugement non émotionnel	IRMf, activité	Images Neg - Pos	CPFVM Amyg.	SA > SJ SJ > SA
					Mots Neg - Pos	CPFVM Amygdale	SJ > SA SA > SJ

Suite tableau page suivante

Suite tableau 3

Etude	Participants	Stimuli	Tâche	Mesures	Contraste	Structure cérébrales	Effets
St Jacques et al. (2010)	SJ : 15 (M=24.80) SA : 15 (M=70.23)	Images (3s) Neg, Neu C : Valence = Haute C : Activation = Haute	Jugement émotionnel	IRMf, activité	Neg-Neu	Amyg.	SJ = SA
				IRMf, Connectivité	Neg-Neu	VACC<>Amyg. (droite) CV<>Amyg. (droite)	SA > SJ SJ > SA
Gutchess (2007)	SJ : 19 (18-28) SA : 17 (61-80)	Adjectifs Noms Pos,Neg	Matching	IRMf, activité	Pos-Neg	CPFD	SA > SJ
Tessitore et al. (2005)	SJ : 12 (20-29) SA : 14 (60-80)	Visages émotionnels (5s) Colère, peur, neutre	Matching émotionnel	IRMf, activité	Neg-Neu	Amyg.,ParaFusiG Broca, CPFM	SJ > SA SA > SJ
Samanez-Larkin et al. (2007)	SJ : 12 (19-27) SA : 12 (65-81)	MID gain/perte	Prise de décision	IRMf, activité	Gain	Insula, medial caudate	SJ = SA
					Perte	Insula Medial caudate	SA > SJ SJ > SA
Roalf et al. (2009)	SJ : 14 (21-35) SA : 22 (65-80)	Images(1.5s) Neg,Pos,Neu C : Valence = Haute C : Activation = Haute	Mémoire	IRMf, activité	Neg - Neu	CPFDL	SA > SJ
					Emotionnel - baseline	CPFDL	SA :Neg>Pos=Neu SJ : Neg=Pos=Neu
Kensinger et al. (2008)	SJ : 17 (19-31) SA : 20 (62-79)	Images d'objet (1s) Neg,Pos,Neu C : Valence = Moyenne C : Activation = Moyenne	Mémoire	IRMf, activité	Pos-Neg	CPFM, CG	SA > SJ
St Jacques et al. (2009)	SJ : 15 (M=24.80) SA : 15 (M=70.23)	Images (3s) Neg, Neu	Mémoire	IRMf, activité	Neg-Neu	Amyg.	SJ = SA
				IRMf, Connectivité	Neg-Neu	CPFDL <> Amyg CPFDL <> Hipp	SA > SJ SJ > SA
Addis et al. (2010)	SJ : 17 (19-31) SA : 20 (61-80)	Images Neg, Pos, Neu	Mémoire	IRMf, activité	Pos - Neg	CPFVM, COF (gauche)	SA > SJ
				IRMf, Connectivité	Pos - Neg	CPFVM<>Amyg. CPFVM<>Hippo	SA > SJ SA > SJ
Waldinger et al. (2011)	SA : 39 (64-89) S : Satisfaction quotidienne	Images (3s) Neg, Pos, Neu	Mémoire	IRMf, activité	Pos - Neu	COF CPFVM	Basse> Haute satisfaction
				IRMf, Connectivité	Pos - Neg	COF – limbique	Haute > Basse satisfaction
Murty et al. (2009)	SJ : 30 (M=26) SA : 30 (M=61)	Images(3s) Neg, Neu C :Valence C: Activation	Mémoire	IRMf, activité	Neg-Neu	MT CPFDL Amyg.	SJ > SA SA > SJ SJ > SA
				IRMf, Connectivité	Neg-Neu	Amyg.-CPFDL/CPFVL Amyg-Hippo.	SA > SJ SJ > SA

La première étude mettant en évidence un effet de l'âge sur l'amygdale ou le cortex préfrontal lors de traitements émotionnels, en particulier lors du traitement de visages négatifs (peur, dégoût, tristesse, colère), est celle d'Iidaka et collaborateurs (2002). Dans une tâche de catégorisation du genre de visages, les auteurs relèvent une activité moindre de l'amygdale chez les sujets âgés comparativement aux sujets jeunes lors de la présentation de visages négatifs. D'autres études utilisant aussi des visages négatifs confortent ce résultat, que ce soit pour une tâche de perception passive (Fischer et al., 2005; Williams, Brown, et al., 2006), de catégorisation de la valence émotionnelle (Gunning-Dixon et al., 2003), ou de labellisation de l'émotion (Tessitore et al., 2005). Cette diminution de l'activité amygdalienne avec l'âge lors du traitement de stimuli négatifs n'est pas seulement observée pour des stimuli de type « visages », mais aussi pour des images de scènes naturelles (Leclerc & Kensinger, 2011; Mather et al., 2004; Murty et al., 2009; Roalf et al., 2009). Une étude réalisée par Erk, Walter, & Abler, (2008) sur des participants de 19 à 54 ans et utilisant une tâche de perception passive d'images de l'IAPS montre que cette diminution d'activité dans l'amygdale pour les stimuli négatifs se fait linéairement avec l'âge et semble s'accompagner d'une augmentation linéaire de l'activité dans le cortex préfrontal avec l'âge, comme en attestent de nombreuses autres études. En effet, certains auteurs observent, chez les personnes âgées, pour les stimuli négatifs, une plus grande activité des cortex préfrontaux dorso-latéraux (CPFDL ; Erk et al., 2008; Gunning-Dixon et al., 2003; Murty et al., 2009; Roalf et al., 2009), dorso-médian (CPFDM ; Gunning-Dixon et al., 2003; Tessitore et al., 2005; Williams, Brown, et al., 2006), et ventro-médians (CPFVM ; Leclerc & Kensinger, 2011; Tessitore et al., 2005; Williams, Brown, et al., 2006), ainsi que du cortex orbitofrontal (COF ; Erk et al., 2008). D'autres structures relatives aux traitements émotionnels présentent aussi une activité augmentée avec l'âge dans le cas de stimuli négatifs. C'est le cas du cortex cingulaire (Gunning-Dixon et al., 2003) et de l'insula (Fischer et al., 2005; G. R. Samanez-Larkin et al., 2007).

Les effets de l'âge sur les corrélats neuronaux relatifs au traitement de stimuli émotionnels ne s'observent pas uniquement au niveau de l'activité cérébrale, mais aussi au niveau de la connectivité entre les structures. Deux études (St Jacques et al., 2009, 2010) portant sur l'évaluation et la mémorisation de scènes neutres et négatives n'ont observé aucun effet de l'âge sur l'activité amygdalienne durant la présentation d'images à mémoriser, qu'elles soient négatives ou neutres, mais ont montré, en revanche, des modifications de la connectivité fonctionnelle entre les structures impliquées dans le traitement émotionnel pour

les stimuli négatifs. La connectivité de l'amygdale diminue avec le CPFVL gauche, alors qu'elle augmente avec le CPFDL (de manière bilatérale) et le cortex cingulaire antérieur ventral (VACC). Une autre étude similaire trouve une augmentation de la connectivité entre l'amygdale et les CPFVL et CPFDL pour les stimuli négatifs correctement mémorisés (Murty et al., 2009).

La plupart des études en neuro-imagerie rapportent ainsi un traitement différentiel des stimuli négatifs avec l'âge, sous la forme d'une diminution de l'activité de l'amygdale associée principalement à une augmentation de l'activité du cortex préfrontal. Il est à noter, par ailleurs, qu'aucune étude ne rapporte de résultats concernant d'éventuelles modulations de traitement des stimuli positifs, que ce soit en termes d'activité fonctionnelle ou de connectivité.

Concernant la temporalité des processus relatifs aux effets de positivité, les études comportementales d'orientation du regard constituent une première source d'information. Lors de la perception de visages appariés dans le paradigme dot-probe, l'analyse des données oculométriques et, en particulier, des temps de fixations oculaires sur chacune des images ne révèle des effets de positivité qu'au-delà de 500 ms après présentation des stimuli (Isaacowitz, Allard, et al., 2009; Isaacowitz et al., 2006a; Knight et al., 2007). Un biais de négativité reste maintenu chez les personnes âgées sur la première fixation oculaire.

Les outils de neurophysiologie à haute résolution temporelle tels que l'électroencéphalographie (EEG) peuvent également apporter des réponses quant au déroulement temporel des étapes de traitement émotionnel modulées avec l'âge, le but de ces études EEG (répertoriées dans le tableau 5) étant de vérifier à quelle étape de traitement se jouent les effets de positivité.

Tableau 5: Principaux résultats des études réalisées en EEG sur les effets de positivité avec l'âge selon les différentes composantes cérébrales évoquées d'intérêt et la valence émotionnelle des stimuli.

P : Effets de Positivité, = : Pas d'effet de l'âge, N = Biais de négativité plus important avec l'âge ; Nombre de participants (Moyenne ou étendue), SJ : Sujets Jeunes, SA : Sujets Agés, S : Variables des participants manipulées ; Stimuli (durée de présentation), C : Variable contrôlée sur les stimuli.

Etude	Participants	Stimuli	Composante/ ERP	Effets
Williams et al., (2006) P	Adolescent : 60 (12-19) SJ : 59 (20-29) MA : 63 (30-49) SA : 60 (50-79)	Visages (500ms) Perception visuelle Peur, joie, Neu	ERP (180-450ms)	Peur : SA > SJ
			ERP (40-150ms)	Joie : SJ > SA
Wood et al., (2006) =ou P selon la composante	SJ : 20 (19-22) SA : 20 (56-81)	Images (1s) Catégorisation émotionnelle Neg, Pos, Neu C : Valence = haute C : Activation =moyenne	P2	Pas d'effet de l'âge
			LPP	SJ : Neg > Pos > Neu SA : Neg = Pos > Neu
Kisley et al., (2007) P	51 (18-81)	Images (1s) Catégorisation émotionnelle Neg, Pos, Neu C : Valence = haute C : Activation =moyenne	LPP	Neg : forte corrélation négative avec l'âge Pos : faible corrélation négative avec l'âge Neu : pas de corrélation
Foster et al., (2013) (Pas évalué sur SJ)	SA : 66 (53-89)	Images (1s) Catégorisation émotionnelle Neg, Pos, Neu S : Niveau cognitif C : Valence = moyenne C : Activation =moyenne	LPP	Neg : Haut niveau cognitif > Faible
Langeslag et al., (2009) =ou P Selon la composante	SJ : 19 (19-26) SA : 19 (65-82)	Images (1s) Catégorisation émotionnelle Neg, Pos, Neu C : Valence = moyenne C : Activation =moyenne	LPP (400-700 ms)	Pas d'effet de l'âge
			LPP (700-1000 ms)	SJ : Neg > Pos = Neu SA : Neg = Pos > Neu

Plusieurs composantes cérébrales évoquées sont modulées par les propriétés émotionnelles des stimuli. Les effets liés à l'âge sur le traitement émotionnel ont principalement été étudiés au niveau de la composante évoquée « LPP » (Late Positive Component). En effet, cette composante tardive observée entre 300 et 900 ms dans les régions centro-pariétales peut être modulée par divers processus endogènes tels que la régulation émotionnelle (Hajcak et al., 2006) et est particulièrement représentative de l'engagement attentionnel et de la signification motivationnelle du stimulus (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ferrari et al., 2008; Schupp et al., 2006). En utilisant un paradigme de catégorisation émotionnelle d'images de l'IAPS, plusieurs études (Kisley et al., 2007; Sandra J E Langeslag & van Strien, 2009; Wood & Kisley, 2006) montrent que l'amplitude de la LPP évoquée par

les stimuli émotionnels diminuent globalement avec l'âge. Cette réduction apparaît de manière plus importante pour les stimuli négatifs et conduit à une similarité des valeurs de LPP entre les situations négatives et positives chez les personnes âgées (figure 12).

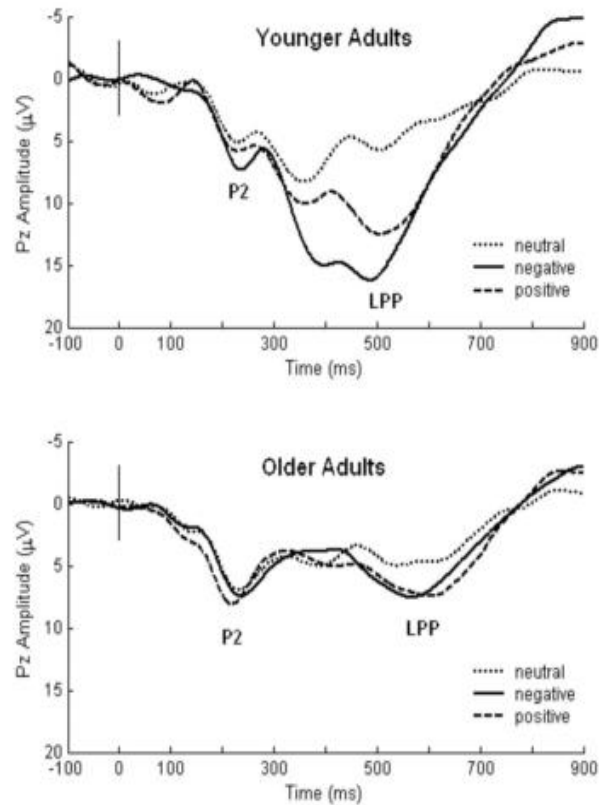


Figure 12 : Potentiels évoqués au niveau de l'électrode Pz, en fonction de la valence des stimuli et de l'âge. Extrait de Wood et collaborateurs (2006)

Ces résultats suggèrent que le biais de négativité observé chez les jeunes disparaît ou est réduit avec l'âge, principalement suite à des modifications dans le traitement des stimuli négatifs. Selon certains auteurs (Kisley et al., 2007), cette réduction du biais de négativité se ferait linéairement avec l'âge (Figure 13). Il est à noter, toutefois, qu'un biais émotionnel est préservé avec l'âge au niveau électrophysiologique, les situations émotionnelles induisant une LPP significativement plus ample que les stimuli neutres.

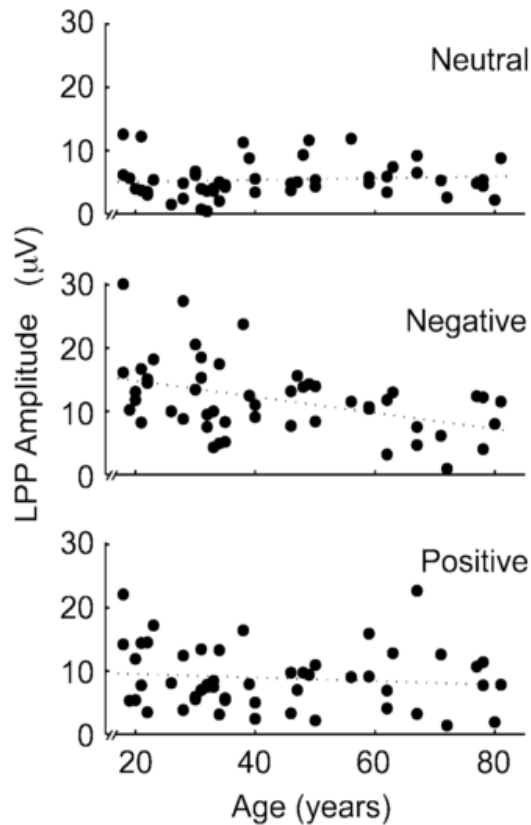


Figure 13 : Amplitude de l'onde LPP calculée en effectuant la moyenne de la valeur d'amplitude électrique relevée sur l'électrode Pz entre 400 et 900ms en fonction de l'âge et de la valence. Extrait de Kisley et collaborateurs (2007).

Des composantes plus précoces telles que les composantes N170, P2, VPP (Vertex Positive Potential ou P2 vertex), et N250 ont été analysées (Williams, Palmer, Liddell, Song, & Gordon, 2006; Wood & Kisley, 2006), mais n'ont pas révélé de modulations liées à l'âge en fonction de la valence ; les seuls effets apparaissant dans ces études se situent à partir de 400 ms après la présentation des stimuli, au niveau de la composante LPP. Wieser, Mühlberger, Kenntner-Mabiala et Pauli, (2006), dans une tâche de perception de type RSVP (Rapid Stream Visual Perception) portant sur 702 images de l'IAPS présentées à une fréquence de 3 Hz, n'ont pas non plus observé d'effets de positivité liés à l'âge avant 300ms.

Les modulations dans les traitements émotionnels liées à l'âge à l'origine des effets de positivité au niveau comportemental seraient donc dues principalement à des modifications dans des processus tardifs (Kisley et al., 2007; Knight et al., 2007; Wood & Kisley, 2006, pour revue voir Mather, 2012; Nashiro et al., 2011;), les « effets de positivité » n'étant observés qu'à un stade très avancé du traitement. Ces processus toucheraient, par ailleurs, principalement les stimuli négatifs, ce qui correspond aux résultats des études réalisées en IRMf.

Néanmoins, ces conclusions ne reposent que sur quelques études faites en oculométrie et de quatre études en EEG dont deux ont été réalisées par la même équipe (Kisley et al., 2007; Wood & Kisley, 2006) en utilisant la même méthodologie. Une critique pourrait être faite sur la sélection du matériel de ces deux études. Bien que le nombre de participants soit très satisfaisant (40 et 51 participants), les auteurs ont utilisé 2 images pour chaque condition de valence (positive, négative et neutre), ce qui limite la généralisation de leurs résultats à une plus grande diversité de situations émotionnelles.

Par ailleurs, bien que la majorité des études en IRMf et EEG s'accorde sur une réduction du biais de négativité avec l'âge, principalement suite à des modifications dans le traitement des stimuli négatifs, certaines études échouent à mettre en évidence un tel effet. Par exemple, dans quelques études IRMf, l'activité de l'amygdale et du cortex préfrontal ne diffère pas en fonction de la valence des stimuli chez les personnes âgées (Roalf et al., 2009; St Jacques et al., 2009, 2010; Wright et al., 2006). D'autres études trouvent même chez les personnes âgées un pattern inverse, à savoir une augmentation du biais de négativité avec l'âge. Certaines études IRMf montrent ainsi une augmentation de l'activité de l'amygdale, couplée à une diminution de l'activité du cortex préfrontal lors du traitement de stimuli négatifs (Addis et al., 2010) et ce, pour divers types de stimuli : des images de scènes naturelles, des mots (Gutchess, Kensinger, & Schacter, 2007; Leclerc & Kensinger, 2008; Leclerc & Kensinger, 2011), ou des stimuli plus abstraits comme des images schématiques d'objet (Kensinger & Schacter, 2008). Une étude EEG met également en évidence une augmentation du biais de négativité avec l'âge pour des composantes moins tardives telles que la N200, la P300 et la LPP (Williams et al., 2006).

De telles différences d'effets de l'âge à travers les études laissent supposer l'influence de différents facteurs méthodologiques tels que la nature des stimuli et la tâche utilisées. Ces facteurs font l'objet d'un chapitre (Chapitre V) présenté à la suite des modèles explicatifs des effets de positivité.

Résumé

L'étude des traitements émotionnels avec l'âge a débuté dans le domaine de la psychologie sociale et a mis en évidence un paradoxe. Malgré un environnement ne favorisant pas une vision positive de la vie (*e.g.*, problème de santé, perte d'êtres proches), les personnes âgées semblent avoir un plus haut niveau de bien être que les plus jeunes (Mroczek & Kolarz, 1998). Par la suite, des études en psychologie cognitive se sont intéressées à ce paradoxe et ont étudié les modulations dans le traitement émotionnel avec l'âge. Ces études suggèrent que cette élévation du bien être soit liée à une augmentation, avec l'âge, de la préférence pour les informations positives par rapport aux informations négatives. Cette modification dans la balance affects positifs et affects négatifs liée à l'âge est appelé « effet de positivité » (Kennedy et al., 2004). Les effets de positivités peuvent s'observer à de multiples niveaux cognitifs. Par exemple, des études montrent que les personnes âgées mémorisent mieux les stimuli positifs que les stimuli négatifs (Charles et al., 2003). Au niveau attentionnel, des études en oculométrie montrent que les personnes âgées évitent de regarder des images négatives et sont attirées par les positives (*e.g.*, Isaacowitz, Wadlinger, Goren, & Wilson, 2006). Dans les tâche de prise de décision, les personnes âgées focalisent sur les critères positifs pour choisir un produit alors que les jeunes personnes font un compromis entre critères positifs et négatifs (Kim et al., 2008). Des études en IRMf attestent de ces effets de positivité et montrent notamment une réduction de l'activité de l'amygdale avec l'âge couplée à une augmentation de l'activité du cortex préfrontal lors du traitement de stimuli négatifs. Assez peu d'effets sont observés concernant les stimuli positifs. Une méta-analyse des études comportementales réalisées en oculométrie conforte l'idée que les changements de préférence entre stimuli positifs et négatifs au cours du vieillissement « sain » sont essentiellement dus à une réduction du biais de négativité et donc à une modulation dans le traitement des informations négatives plutôt qu'à une augmentation d'un biais de positivité associée à une plus grande préférence pour les stimuli positifs (Murphy & Isaacowitz, 2008). Ces effets de positivité seraient dus principalement à des modifications dans les processus tardifs du traitement de l'information comme en atteste la réduction du biais de négativité avec l'âge au niveau de la composante tardive LPP, indicateur de l'engagement attentionnel de l'individu induit par le stimulus (*e.g.*, Kисley, Wood, & Burrows, 2007).

Chapitre IV - Modèles émotionnels appliqués au vieillissement

Préambule

La majeure partie des études comportementales et de neuro-imagerie étudiant les effets de l'âge sur les traitements émotionnels montre principalement une atténuation progressive de la préférence pour les stimuli négatifs au cours du vieillissement, lesquels perdraient de leur attractivité attentionnelle à l'avantage des stimuli positifs. Cet « effet de positivité » serait en lien avec un sentiment de bien-être croissant avec l'âge. Les raisons de ces modifications font actuellement débat dans la littérature et font l'objet de différents modèles de développement. Les deux principaux modèles actuels reposent sur des mécanismes opposés. Le « Aging Brain Model » (Cacioppo, Berntson, & Hawkley, 2011) suppose une altération des traitements émotionnels avec l'âge suite à une altération cérébrale et, en particulier, suite à une atrophie de l'amygdale qui aurait pour conséquence une modulation de traitement des stimuli émotionnels. Le second modèle, dit du « contrôle cognitif » (Mather & Carstensen, 2005; Mather & Knight, 2005; Mather, 2012), présuppose une conservation des voies de traitement émotionnel avec l'âge, et explique les effets de positivité comme le résultat de changements motivationnels chez l'individu lesquels viendraient activer des processus de régulation émotionnelle modulant le traitement des stimuli.

1. « Aging Brain Model »

Selon le « Aging Brain Model » (Cacioppo et al., 2011), les effets de positivité » seraient la conséquence d'un déclin cognitif important avec l'âge, dû, en particulier, à une perte neuronale massive, principalement au niveau de la structure amygdalienne. L'amygdale joue un rôle important dans l'extraction de la saillance émotionnelle ou dans le traitement de la peur selon les modèles (voir chapitre II). Du fait de son atrophie, le traitement et l'impact émotionnel des images négatives seraient altérés, conduisant aux effets de positivité.

Ce modèle semble compatible avec les nombreuses études IRMf qui ont montré une réduction de l'activité amygdalienne avec l'âge pour les stimuli négatifs (Fischer et al., 2005; Gunning-Dixon et al., 2003; Kennedy et al., 2004; Leclerc & Kensinger, 2011; Murty et al.,

2009; Roalf et al., 2009; Tessitore et al., 2005). Les augmentations d'activité du cortex frontal et de sa connectivité avec l'amygdale observées avec l'âge pour les stimuli négatifs (Erk et al., 2008; Gunning-Dixon et al., 2003; Murty et al., 2009; Roalf et al., 2009; St Jacques et al., 2009, 2010; Tessitore et al., 2005; Wright et al., 2006), seraient, quant à elles, justifiées par un autre modèle de développement cognitif : le modèle « Posterior Anterior Shift in Aging » (PASA) (Grady & Maisog, 1994 pour revue voir Davis, Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008; Grady, 2008). En effet, il est à noter que le vieillissement ne provoquerait pas qu'une atrophie des structures amygdaliennes mais toucherait aussi des structures corticales telles que le cortex visuel. Selon le modèle PASA, une compensation via un sur-recrutement des aires frontales aurait lieu chez les individus âgés dans le but de maintenir un niveau de traitement de l'information perceptuelle suffisant.

Toutefois, ce modèle a du mal à s'imposer. La première raison est que l'atteinte de l'amygdale dans le vieillissement sain n'est pas avérée. Dans une étude en IRM-anatomique réalisées sur 87 adultes sains de 22 à 88 ans, Allen, Bruss, Brown, & Damasio (2005) montrent que l'amygdale est une des structures les moins touchées par l'âge. Ils observent une plus grande altération d'autres structures limbiques telles que le gyrus parahippocampique, l'hippocampe, ou d'autres structures corticales telles que le lobe frontal (Allen et al., 2005). Dans une récente synthèse de plusieurs travaux, Wright (2009) estime que le volume de l'amygdale, rapporté au volume intracrânien total, diminue seulement de 4% entre sujets jeunes et âgés. Des études post-mortem viennent confirmer la préservation de l'amygdale dans le vieillissement « sain » (Brabec et al., 2010).

De plus, ce modèle basé sur une altération de l'amygdale ne permet pas de justifier pourquoi le traitement des stimuli positifs est préservé. En effet, l'amygdale aurait un rôle tout aussi important dans le traitement des stimuli positifs que négatifs, puisqu'elle serait responsable de l'extraction de la saillance émotionnelle (Lindquist et al., 2011) ou de la pertinence des stimuli pour l'individu (Sander, 2012) selon les théories actuelles.

2. Le modèle dit du « contrôle cognitif »

2.1. Présentation générale

Un second modèle, dit du « contrôle cognitif » (Mather & Carstensen, 2005; Mather & Knight, 2005; Mather, 2012), est actuellement le modèle dominant dans la compréhension des

effets du vieillissement dans les traitements émotionnels. Ce modèle repose sur une préservation des traitements automatiques de l'émotion et explique les modulations liées à l'âge par la mise en place, chez la personne âgée, d'un contrôle cognitif dans le traitement émotionnel. Ce terme de « contrôle cognitif » fait référence à l'ensemble des processus cérébraux qui ont pour but de planifier, sélectionner les pensées et actions de l'individu en fonction de ses buts et besoins (Miller & Cohen, 2001). Comme souligné dans le premier chapitre de cette thèse, le cortex préfrontal, sur la base des motivations de l'individu, régule les traitements émotionnels automatiques relatifs aux propriétés intrinsèques des stimuli via des influences (directes ou indirectes) de type « top-down » sur les aires sous-corticales et les aires corticales perceptives. Dans le cadre des émotions, le contrôle cognitif renvoie principalement aux stratégies de régulation émotionnelle (Ochsner & Gross, 2005). Dans le vieillissement, le modèle du « contrôle cognitif » postule que cette régulation serait active de manière inconsciente chez la personne âgée (Mather & Carstensen, 2005; Mather & Knight, 2005; Mather, 2012) et permettrait le maintien d'un niveau de bien-être élevé selon la théorie de « Sélectivité Socio-émotionnelle (TSS ; Carstensen, Fung, & Charles, 2003; Carstensen, Isaacowitz, & Charles, 1999; Carstensen & Mikels, 2005; Carstensen et al., 2011).

2.2. De la théorie motivationnelle de sélectivité socio-émotionnelle au bien-être.

L'« effet de positivité » serait le résultat de la modulation des traitements émotionnels par la mise en place de processus de type « contrôle cognitif » de l'émotion, suite à des changements sur le plan motivationnel de l'individu. En effet, selon la TSS proposée par Carstensen (1992, 1995, 1999), les buts au quotidien des individus sont toujours inscrits dans un contexte temporel dont leur âge est la principale variable. Quand les individus perçoivent le temps comme long, voire infini, comme c'est le cas pour la plupart des personnes jeunes, ils s'intéressent à préparer leur avenir. Ils sont alors plus enclins à investir de l'énergie pour apprendre, acquérir de nouvelles informations pour préparer l'avenir, capitaliser de l'expérience pour de futures situations, et sont plus susceptibles et ouverts à l'expérimentation même de situations négatives. A mesure que les individus vieillissent, le temps restant à vivre s'amenuise. La préparation de l'avenir et l'acquisition d'expériences deviennent alors moins primordiales ; l'énergie des individus âgés va être davantage allouée vers ce qui fait émotionnellement sens à leur vie (Carstensen et al., 1999; Carstensen, 1992; Carstensen,

1995) de sorte à privilégier leur bien-être social et émotionnel (Carstensen, 2006; Lang & Carstensen, 2002).

Une première étude, réalisée par Fung & Carstensen (2003), atteste de ce changement de motivation avec l'âge en fonction de la perception temporelle de l'avenir (en anglais « Future Time Perspective », FTP³ ; Carstensen & Lang, 1996). Les auteurs montrent qu'une FTP réduite conduit les participants à préférer des films publicitaires avec un contenu émotionnel (indépendamment de la valence) plutôt que des films dont le contenu est orienté vers l'avenir. D'autres études, plus récentes, font le lien entre FTP et « effets de positivité ». Dans une étude sur la prise de décision, réalisée par 60 individus jeunes et 60 individus âgés, Löckenhoff et Carstensen (2007) montrent ainsi que les effets de positivité normalement observés pour le groupe âgé disparaissent lorsque la FTP est statistiquement contrôlée entre les deux groupes⁴. Par ailleurs, un article regroupant quatre études, incluant au total 972 participants jeunes et âgés (18-70 ans), a montré une corrélation entre la FTP et une humeur plus positive (Hicks, Trent, Davis, & King, 2012) indépendamment de l'âge, suggérant que les effets de positivité ne serait pas lié intrinsèquement au vieillissement mais plutôt au contexte l'accompagnant (*e.g.*, la conscience de la mort).

Selon la théorie du « contrôle cognitif », ce changement de motivation enclencherait des mécanismes cérébraux de régulation émotionnelle (Mather & Carstensen, 2005; Mather, 2012; Murphy & Isaacowitz, 2008; Williams et al., 2006). Par voie de conséquence, l'influence des émotions négatives serait diminuée et les émotions positives seraient préférées, contribuant à l'observation d'un « effet de positivité » au niveau des processus attentionnels, mnésiques et de prise de décisions. Au même titre que le « Aging Brain Model », le modèle de « contrôle cognitif » peut justifier les données recueillies en neuroimagerie. Rappelons que de nombreuses études de neuro-imagerie sur le traitement des émotions montrent une réduction de l'activité amygdalienne avec l'âge (Fischer et al., 2005; Gunning-Dixon et al., 2003; Iidaka et al., 2002; Leclerc & Kensinger, 2011; Mather et al., 2004; Murty et al., 2009; Roalf et al., 2009; Tessitore et al., 2005), et/ou une augmentation de l'activité cérébrale dans le cortex préfrontal lors du traitement de stimuli négatifs chez les sujets âgés comparativement aux sujets jeunes (Erk et al., 2008; Gunning-Dixon et al., 2003; Leclerc & Kensinger, 2011; Murty et al., 2009; Roalf et al., 2009; St Jacques et al., 2009,

³ Un questionnaire a été proposé par Carstensen & Lang (1996) permettant de mesurer sur une échelle numérique la FTP des individus.

⁴ Le score sur l'échelle de FTP des individus était inclus en tant que co-variable dans le modèle de régression.

2010; Tessitore et al., 2005; Williams et al., 2006). Une plus forte connectivité entre l'amygdale et le cortex préfrontal est aussi observée dans certaines études (St Jacques et al., 2009, 2010). Les données recueillies en EEG dans l'étude du vieillissement vont aussi dans le sens d'une préservation des traitements émotionnels automatiques et d'une régulation émotionnelle des stimuli négatifs. Chez la personne âgée, la réduction du biais de négativité apparaîtrait tardivement, soit après environ 200-300ms, particulièrement pour la composante LPP (Kisley et al., 2007; Langeslag & van Strien, 2009; Wood & Kisley, 2006). De tels effets de l'âge sur les patterns d'activité cérébrale rappellent les patterns observés chez les sujets jeunes lors de la réalisation de tâches de régulation émotionnelle des stimuli négatifs (Hajcak & Nieuwenhuis, 2006; Moser et al., 2006; Chapitre II).

Une dernière étude corrobore ces interprétations en combinant les techniques d'EEG et IRMf et propose un modèle dynamique (Williams, Brown, et al., 2006). Selon ce modèle, les effets de positivité, chez la personne âgée, seraient la conséquence d'un accroissement du contrôle cognitif pour le traitement d'informations teintées négativement et d'une absence totale de contrôle pour les émotions positives. Le cortex préfrontal médian serait responsable du contrôle du traitement des informations négatives, survenant vers 180-280ms, qui dépendrait de l'évaluation perceptuelle précoce et agirait par des influences « top-down » directes ou indirectes sur les autres structures participant au traitement émotionnel (*e.g.*, amygdale, cortex visuel). L'hypothèse d'absence de contrôle pour les stimuli positifs justifie le peu de résultats spécifiques obtenu en neuro-imagerie pour ce type de stimuli en fonction de l'âge (pour revue Nashiro et al., 2011).

2.3. Efficacité des capacités de régulation émotionnelle dans le vieillissement

Selon le modèle du « contrôle cognitif », les effets de positivité se justifieraient par la mise en place « par défaut » de processus de régulation dans le traitement de l'information émotionnelle. Néanmoins, pour que cette hypothèse soit valable, une préservation et une efficacité des processus de régulation émotionnelle avec l'âge sont supposées.

De nombreuses études issues du domaine de la psychologie sociale ont montré de meilleures capacités de régulation émotionnelle avec l'âge (Carstensen et al., 2000; Gross et al., 1997; Lawton, Kleban, Rajagopal, & Dean, 1992; Magai, Consedine, Krivoshekova, Kudadjie-Gyamfi, & McPherson, 2006; Mroczek, 2001). Par exemple, selon une étude de

Kliegel, Jäger, & Phillips (2007), les personnes âgées retrouvent plus rapidement une humeur positive après une induction émotionnelle négative par rapport aux jeunes. Cette régulation émotionnelle accrue permettrait, entre autres, aux personnes âgées d'être moins facilement distraites que les personnes jeunes par des événements stressants de la vie quotidienne (Susan Turk Charles & Almeida, 2007) ou par des conflits interpersonnels (Birditt, Fingerman, & Almeida, 2005), d'avoir plus de facilités à se détacher d'expériences négatives de la vie quotidienne et d'être moins sujettes à des pensées négatives de type rumination mentale (Phillips et al., 2008).

Dans le cadre d'études issues de la psychologie cognitive, Scheibe & Blanchard-Fields, (2009) montrent que les processus de régulation sont cognitivement moins coûteux pour les sujets âgés que pour les sujets jeunes. Dans leur expérience, les auteurs ont proposé, aux participants jeunes et âgés, la réalisation d'une tâche de mémorisation après une induction émotionnelle de dégoût (induction par « clips » vidéo). Diverses consignes de régulation émotionnelle ont été données aux participants. Les résultats montrent que les personnes âgées ont de meilleures performances mnésiques lorsqu'ils ont pour consigne de « diminuer l'émotion » que lorsqu'ils ont pour consigne de « maintenir l'émotion », alors que le pattern inverse est observé chez les sujets jeunes.

Plusieurs études de neuro-imagerie ont permis d'investiguer la manière dont les corrélats neuronaux sont modulés par les consignes explicites de régulation émotionnelle, à faire pendant ou après l'apparition d'images négatives. Des patterns semblables chez les sujets jeunes et âgés ont été rapportés lors de ces demandes explicites de régulation émotionnelle, en accord avec les modèles actuels de régulation (Ochsner & Gross, 2005). Plus spécifiquement, une diminution significative de l'activité amygdalienne a été observée durant la condition « régulation » par rapport à la condition de simple perception (Urry et al., 2006, 2009; Van Reekum et al., 2007; Winecoff, Labar, Madden, Cabeza, & Huettel, 2010). Certaines de ces études ont également rapporté une augmentation d'activité du cortex préfrontal (Heather L Urry et al., 2006; Winecoff et al., 2010). L'une de ces études, comparant directement des participants jeunes (19 à 33ans), et âgés (59 à 73ans), lors d'une tâche de régulation émotionnelle de scènes naturelles négatives, suggère une préservation des processus et des structures mises en jeu dans la régulation émotionnelle avec l'âge (Winecoff et al., 2010). En effet, l'activité des cortex préfrontaux dorso-latéral et dorso-médian et de l'amygdale, ainsi que la connectivité fonctionnelle entre le cortex préfrontal latéral et l'amygdale, sont modulées de manière similaire pour les deux populations.

Ces études comportementales et de neuro-imagerie permettent donc de supposer que les capacités de régulation émotionnelle et les structures cérébrales fonctionnelles impliquées sont préservées avec le vieillissement. Néanmoins, il faut rappeler, au regard des travaux de Gross (1998) sur la régulation émotionnelle, que cinq stratégies de régulation sont possibles selon son modèle (voir chapitre II). Ceci nous amène donc à nous interroger sur les liens entre capacités de régulation émotionnelle et stratégies de régulation avec l'âge. Comme nous allons le voir, certaines stratégies de régulation seraient privilégiées au sein de la population âgée dans le but de potentialiser leur bien-être.

Modification des situations

Aucune donnée concernant la stratégie dite de « modification des situations » n'est actuellement disponible, les contraintes expérimentales (en termes de moyens et de méthodes) limitant sa mise en place. En effet, une étude de la stratégie de « modification de la situation » imposerait de laisser au participant une marge de manœuvre importante afin qu'il puisse modifier la situation à sa guise, ce qui ne manquerait pas de complexifier la mise en place du contexte expérimental et de son contrôle.

Sélection des situations

Concernant la stratégie de « sélection des situations », plusieurs études sur la base de questionnaires ont montré que les adultes âgés ont une certaine propension à éviter les situations sociales négatives, soit en se retirant quand elles se présentent ou encore en restant en marge des zones de conflits, c'est-à-dire en évitant d'y entrer (Birditt & Fingerman, 2005; Blanchard-Fields, Mienaltowski, & Seay, 2007; Charles, Piazza, Luong, & Almeida, 2009; Coats & Blanchard-Fields, 2008). Cette stratégie serait probablement une des stratégies les plus utilisées par les personnes âgées pour maintenir un certain niveau de bien-être, notamment par le faible coup cognitif que représente sa mise en œuvre (Urry & Gross, 2010). Par ailleurs, cette stratégie s'avèrerait très efficace pour les personnes âgées, car elles possèdent de meilleures capacités d'anticipation et de prédiction de leur ressentis émotionnels (Nielsen, Knutson, & Carstensen, 2008).

Suppression et amplification des réponses physiologiques et motrices

Dans une étude concernant 48 participants jeunes (18-28ans) et 47 participants âgés (60 à 85ans), Kunzmann et collaborateurs (2005) ont testé leurs capacités de suppression et

d'amplification des réponses physiologiques et comportementales suite à la présentation de trois vidéo clips d'une minute induisant principalement du dégoût. Dans la condition de « suppression », les participants avaient pour consigne de ne pas montrer leurs expressions émotionnelles, comme s'ils voulaient les cacher à une éventuelle personne qui les regarderait en train de visionner le film. A l'inverse, la condition d' « amplification » demandait aux participants de rendre plus saillantes leurs expressions émotionnelles. Une condition contrôle était également proposée dans laquelle les participants devaient simplement regarder la vidéo. L'expressivité émotionnelle était évaluée, pour ces différentes conditions, en combinant des mesures de mouvements corporels et faciaux (enregistrées à l'aide d'une caméra), et des mesures électrophysiologiques telles que la réponse électrodermale et le rythme cardiaque. Dans la condition contrôle, l'analyse des résultats a montré des réactions moins intenses pour les personnes âgées comparativement aux personnes jeunes, suggérant l'existence d'effets de positivité « par défaut » (Figure 14). Cette même analyse a montré que, lors des conditions de suppression et d'amplification émotionnelle, les deux groupes manifestaient une expressivité similaire, suggérant des capacités de régulation équivalentes. Il est à noter toutefois que les personnes âgées déclarent avoir trouvé la condition de suppression plus facile que la condition d'amplification, contrairement au groupe plus jeune. Une autre étude réalisée par Phillips et collaborateurs (2008), utilisant le même paradigme que Kunzmann et collaborateurs (2005), confirme les résultats sur les capacités de suppression de la réponse émotionnelle et les généralise à d'autres situations négatives que celles provoquant le dégoût.

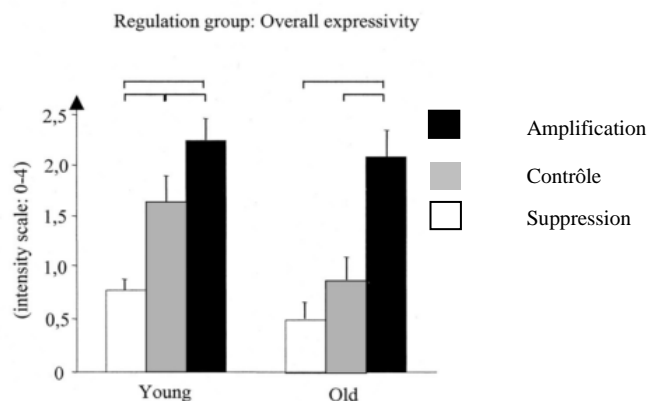


Figure 14: Intensité globale de la mesure combinant les réponses motrices (faciales) et les réponses physiologiques moyennes (réponse électrodermale, rythme cardiaque) en fonction de l'âge et des conditions de régulation. Extrait de Kunzmann (2005)

Bien que ces études montrent que les deux populations arrivent à un résultat similaire lors d'une régulation du type « suppression » ou « amplification émotionnelle », Emery et Hess (2011) ont évalué le coup cognitif de ce type de tâches afin de vérifier si les deux populations sont équivalentes en termes d'efficacité dans la mise en œuvre de ce type de stratégies de régulation émotionnelle. Les auteurs ont donc proposé un paradigme de double tâche : une tâche de mémorisation d'images à réaliser en même temps qu'une tâche de suppression émotionnelle. L'étude a montré que l'ajout d'une tâche de suppression ne provoque pas de baisse de performances en mémoire chez les sujets âgés contrairement aux sujets jeunes. L'inhibition des mouvements faciaux pour les sujets âgés seraient donc moins coûteuse cognitivement, et laisse suggérer de meilleures capacités de régulation avec l'âge.

Néanmoins, selon une étude de John et Gross (2004), réalisée chez 106 participants sur la base d'un questionnaire portant sur la régulation émotionnelle, les individus âgés utiliseraient moins fréquemment la « stratégie de suppression » que les sujets plus jeunes et privilégieraient plutôt la « réévaluation cognitive » pour réguler leurs émotions. Ces mêmes auteurs suggèrent, par ailleurs, qu'une utilisation plus fréquente de la suppression émotionnelle serait associée avec un plus faible niveau d'affects positifs et de satisfaction de la vie, mais aussi avec un plus haut niveau d'affects négatifs et de symptômes dépressifs. Au regard de ces résultats contradictoires et d'observations faites par John et Gross (2004), la stratégie de suppression émotionnelle ne semble pas concorder avec l'augmentation du bien-être dans la population âgée.

La réévaluation cognitive

Plus récemment, Shiota et Levenson (2009), en utilisant les mêmes stimuli et la même procédure d'induction que les études de Phillips et collaborateurs (2008) et Kunzmann et collaborateurs (2005), ont comparé de nouvelles conditions de régulation de l'émotion à la condition de suppression. Dans une de ces nouvelles conditions, les participants devaient adopter une attitude de détachement émotionnel, autrement dit, regarder le film le plus objectivement possible. Dans une autre condition dite de « réévaluation positive », les participants devaient penser aux aspects positifs de ce qu'ils étaient en train de voir. L'analyse des réponses physiologiques et comportementales a montré que, comparativement aux personnes jeunes, les personnes âgées ont de meilleures aptitudes à réévaluer positivement les situations et de moins bonnes aptitudes à s'en détacher émotionnellement. En revanche, leurs

aptitudes à supprimer leurs émotions semblent comparables à celles des jeunes ; confirmant ainsi les résultats de Phillips et collaborateurs (2008) et Kunzman et collaborateurs (2005).

L'effet de l'âge sur la réévaluation cognitive a aussi été étudié en neuro-imagerie. Une étude de Van Reekum et collaborateur (2007), mêlant IRMf et oculométrie, a évalué chez 19 participants âgés (61-65ans), l'effet d'une « réévaluation volontaire de la situation » et d'une condition contrôle de perception passive sur les corrélats neuronaux et l'orientation du regard lors de la présentation d'images de l'IAPS. Par rapport à la condition contrôle passive, la tâche de réévaluation volontaire a induit une plus grande activité dans le cortex préfrontal, dans le précuneus, le lobe pariétal supérieur et le cortex cingulaire postérieur, conformément aux résultats de diverses études sur la régulation émotionnelle (Miller & Cohen, 2001; Ochsner & Gross, 2005; Ochsner et al., 2004; Urry et al., 2006). Les analyses centrées sur les fixations oculaires, ont montré, par ailleurs, que la variance de l'activité du cortex préfrontal (à l'exception du cortex ventro-latéral gauche) peut être principalement expliquée par le nombre, la durée et la distance entre les fixations. Le pourcentage de variance expliquée par ces mesures va de 35% à 78% selon les aires cérébrales préfrontales et les conditions impliquées. Ce résultat suggère que les sujets âgés réduiraient leurs émotions négatives lors de la réévaluation cognitive en diminuant leur temps de regard sur l'information émotionnelle négative en cherchant les zones plus positives. Sur la base de ces résultats, il a alors été supposé que l'augmentation d'activité dans le cortex préfrontal lors d'une tâche de régulation émotionnelle chez les sujets âgées, telle que celle réalisée par Van Reekum et collaborateurs (2007), serait plutôt la conséquence d'un redéploiement attentionnel que celle d'une réévaluation cognitive des situations (telle que définie par Gross, 1998) (Opitz, Rauch, Terry, & Urry, 2012; Van Reekum et al., 2007).

Cette hypothèse semble être confortée par une étude IRMf menée par Opitz et collaborateurs (2012). Ces auteurs ont utilisé le paradigme validé d'Urry et Gross (2010) qui permet d'évaluer spécifiquement la stratégie de régulation par réévaluation cognitive en contrôlant la stratégie de régulation émotionnelle mise en place par les participants (Figure 15). Pour chaque image, des zones d'intérêts émotionnelles ou neutres ont été définies. Lors de la présentation des images, les zones de non-intérêt ont été rendues moins visibles par l'application d'un masque blanc transparent. Les participants voyaient dans un premier temps les images entières, puis au moment même où le masque apparaissait, un bip sonore leur indiquait le début de la période de régulation de type « réévaluation cognitive », qui pouvait être soit dans le sens d'une augmentation, soit d'une diminution de l'émotion. Les participants

avaient pour consigne de fixer leur regard sur les zones d'intérêts. Ce paradigme permet de maintenir constant le déploiement attentionnel lors d'une consigne de type « réévaluation cognitive ». Le déploiement attentionnel ainsi contrôlé, le participant avait comme seul choix d'effectuer une réévaluation cognitive telle que définie par les théories de la régulation émotionnelle. Les résultats de cette étude (Opitz et al., 2012) réalisée en IRMf se sont centrés sur deux structures cérébrales très impliquées dans la régulation émotionnelle: le CPFDM et le CPFVL (voir chapitre II, 3. et 4.3.). Deux groupes d'une quinzaine de participants chacun d'âges différents ont été recruté (18 à 22 ans et 55 à 65ans). Par rapport à une condition contrôle (pas de régulation), les sujets jeunes ont montré une augmentation de l'activité du CPFVL et du CPFDM quelle que soit la condition de régulation (d'augmentation ou de diminution de l'émotion), alors qu'une diminution de l'activité a été observée pour les personnes âgées, suggérant une inefficacité à réguler les émotions. D'après cette étude, la capacité des personnes âgées à réévaluer les situations serait donc en réalité diminuée. De plus, l'analyse du ressenti subjectif demandé après chaque essai a montré que contrairement aux études précédentes (Kunzmann et al., 2005; Phillips et al., 2008), les sujets âgés sont moins efficaces pour diminuer l'impact émotionnel de situations négatives. Pour conclure, cette étude montre que les personnes âgées éprouveraient des difficultés à utiliser une stratégie de réévaluation pour diminuer l'impact d'émotions négatives.

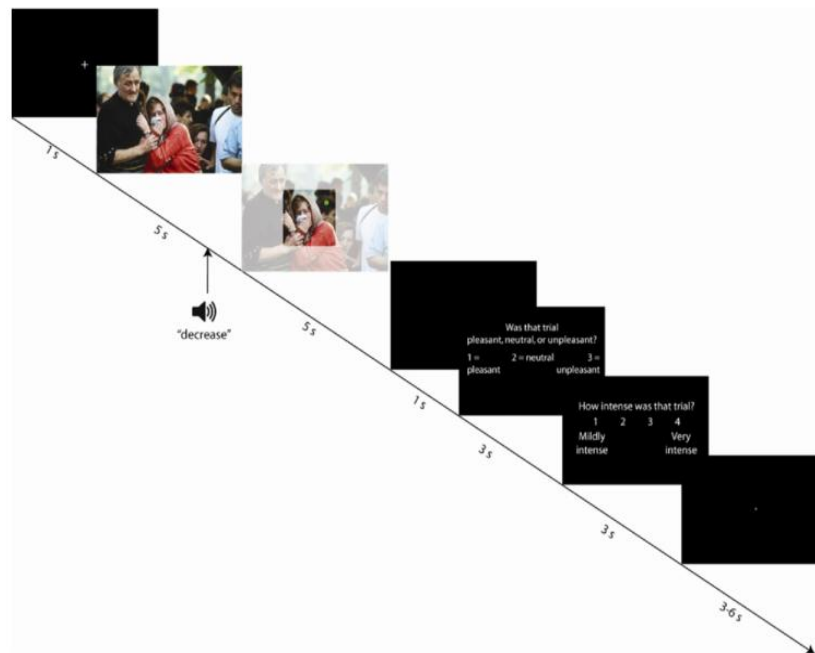


Figure 15 : Protocole expérimental proposé par Opitz et collaborateurs (2012). Le masque blanc transparent permet de contrôler le regard du sujet afin qu'il ne puisse utiliser une stratégie de redéploiement

émotionnel dans une tâche de régulation émotionnelle et de le contraindre à employer une stratégie de réévaluation cognitive.

Le redéploiement attentionnel

Avec la stratégie de sélection de situation, il apparaît que la stratégie de redéploiement attentionnel serait la stratégie de régulation émotionnelle la plus utilisée chez les personnes âgées (Isaacowitz, Gershon, Allard, & Johnson, 2013; Opitz et al., 2012; Urry & Gross, 2010). Par exemple, toutes les études en oculométrie présentant des visages ou des images appariés montrent que le nombre et la durée des fixations oculaires sur les stimuli négatifs diminuent chez les personnes âgées, suggérant une réduction dans l'attention portée aux stimuli négatifs avec l'âge (Allard & Isaacowitz, 2008; Isaacowitz et al., 2008, 2006a; Isaacowitz, Toner, et al., 2009; Knight et al., 2007; N. a Murphy & Isaacowitz, 2008). Dans certaines de ces études, cette réduction s'accompagne d'une augmentation de l'attention (regard) portée sur les stimuli positifs. Selon une étude d'Isaacowitz et collaborateurs (2009), ce redéploiement attentionnel, conduisant à un évitement du contenu négatif et privilégiant le contenu positif, serait une façon de réguler l'humeur et d'élever le niveau de bien-être.

Puisque ces études en oculométrie montrent des effets de positivité dans des conditions de perception simple des images (c'est-à-dire sans tâche particulière), et conformément à la théorie du « contrôle cognitif », cette stratégie de redéploiement attentionnel serait mise en place de façon inconsciente et automatique chez la personne âgée.

2.4. Les modèles cognition-émotion alternatifs SAVI et DIT

Deux autres modèles ont été proposés pour rendre compte des effets de positivité : le modèle « Strength And Vulnerability Integration » (SAVI ; Charles, 2010) et le modèle « Dynamic Integration Theory » (DIT ; Labouvie-Vief, Grühn, & Studer, 2010; Labouvie-Vief, 2003, 2008). Comme pour la théorie de la sélectivité socio-émotionnelle (TSS), ces deux modèles reposent sur l'hypothèse d'un contrôle cognitif et d'une régulation des traitements émotionnels, tout en intégrant la dimension d'expérience acquise avec l'âge dans le processus de régulation.

Le modèle SAVI part du même postulat que la TSS, à savoir que les personnes âgées, sachant que leur temps de vie s'amenuise, vont privilégier leur bien-être via des stratégies de régulation émotionnelle. De plus, il considère que cette régulation émotionnelle s'améliorerait avec l'âge, ce qui permettrait aux personnes âgées une meilleure gestion des événements

émotionnels négatifs. Cette régulation émotionnelle ainsi que son efficacité seraient facilitées par l'expérience acquise avec le temps (Magai et al., 2006). Les personnes âgées auraient appris à se connaître, savoir à quoi elles peuvent survivre, ce qui les font se sentir d'humeur plus positive et quelle est la manière d'y accéder (Rothermund & Brandtstädter, 2003). Par ailleurs, ce modèle intègre le fait que le système nerveux autonome et les réponses physiologiques associées perdent en flexibilité (dans le sens d'une plus grande inertie) et deviendraient, par conséquent, moins contrôlables chez la personne âgée (De Meersman & Stein, 2007; Dodt, Theine, Uthgenannt, Born, & Fehm, 1994; Ferrari, Radaelli, & Centola, 2003; Folkow & Svanborg, 1993). Ainsi, face à des situations négatives intenses et soutenues dans le temps durant lesquelles la personne âgée n'a d'autre choix que de faire face, la durée des réponses physiologiques augmentent (*e.g.*, rythme cardiaque, pression sanguine). L'état de stress physiologique est maintenu longtemps et le retour à un état stable, « homéostatique », est alors long, ce qui limiterait, par voie de conséquence, les capacités cognitives de régulation émotionnelle. A contrario, pour des situations modérées, puisque la réactivité du système est lente et sera moins forte que pour les situations intenses, la régulation émotionnelle serait plus facile à mettre en œuvre et serait plus efficace.

L'autre modèle alternatif proposé par Labouvie-Vief (2003, 2008, 2010) rend compte de la dynamique cognition-émotion avec l'âge (Dynamic Integration Theory (DIT) et repose sur un point de vue cognitivo-développemental de l'affect élaboré par Piaget (1981) où l'organisation des structures et des schèmes affectifs serait ordonnée selon leur niveau de complexité et d'intégration. A mesure de leur intégration, la régulation deviendrait plus stable. Néanmoins, en cas de déclin cognitif lié à l'âge, les capacités d'intégration des situations présentant un haut niveau d'activation/de complexité affective diminueraient. Tant que les émotions restent peu intenses, les personnes âgées pourraient maintenir un niveau de bien-être satisfaisant. Toutefois, à mesure que l'intensité des émotions augmente, la régulation émotionnelle deviendrait plus problématique et d'autant plus que le déclin cognitif serait prononcé.

Actuellement, dans les modèles de contrôle cognitif, la grande majorité des études concernant les effets de positivité, pour ne pas dire toutes, se réfère à la théorie de sélectivité socio-émotionnelle (TSS) pour fonder leurs hypothèses et interpréter leurs résultats. Très peu d'études le font au regard de ces deux théories que sont SAVI et DIT.

Résumé

Plusieurs modèles sont proposés pour rendre compte des effets de positivité. Un premier modèle, le « Aging Brain Model » (Cacioppo et al., 2011) fait l'hypothèse que les modulations dans les traitements émotionnels, et en particulier ceux observées concernant les stimuli négatifs, seraient les conséquences d'un déclin cognitif dû à une perte neuronale liée à l'âge qui touche principalement la structure amygdalienne. L'amygdale, atrophiée, dysfonctionnerait et ne pourrait plus jouer de façon optimale son rôle d'évaluateur de la pertinence ou d'extraction de la saillance émotionnelle. Ce modèle pourrait permettre d'expliquer la diminution de l'activité de l'amygdale avec l'âge lors du traitement de stimuli négatifs observée dans de nombreuses études en neuro-imagerie (Chapitre III, 3.). L'augmentation d'activité dans le cortex pré-frontal, souvent observée dans ces études, serait, quant à elle, le reflet de processus de compensation qui permettrait de maintenir un certain niveau de traitement de l'information.

Par opposition au « Aging Brain Model », un second modèle dit du « contrôle cognitif » (Mather, 2012) suppose une préservation des processus émotionnels et s'appuie sur la théorie de la sélectivité socio-émotionnelle (TSS; Carstensen, 1999) pour justifier des changements dans les préférences émotionnelles avec l'âge. Selon cette théorie, les personnes âgées, ayant conscience que leur avenir se restreint, privilégieraient ce qui fait émotionnellement sens à leur vie de sorte à privilégier leur bien-être émotionnelle. Dans cet objectif, la personne âgée régulerait ses émotions, en particulier les émotions négatives. L'augmentation dans le cortex préfrontal et la diminution de l'activité de l'amygdale observées lors du traitement de stimuli négatifs pourraient être le reflet de la mise en œuvre de processus de régulation comme l'ont montré diverses études de neuroimagerie (*e.g.*, Urry et al., 2006). Diverses stratégies de régulation sont possibles, selon Gross (1998), pour réguler ses émotions. Il semblerait que les personnes âgées privilégient une stratégie de type « redéploiement attentionnel », consistant à éviter de porter le regard sur des zones contenant des informations négatives au privilège de zones plus positives (Van Reekum et al., 2007). La stratégie de type réévaluation cognitive, qui amènerait à évaluer et interpréter les situations négatives de manière plus positive ainsi que la stratégie de suppression des réponses émotionnelles (John & Gross, 2004) n'apparaissent pas comme effective chez les personnes âgées (Opitz et al., 2012).

Chapitre V- Les modérateurs des effets de positivité

Préambule

Plusieurs facteurs semblent interagir avec les mécanismes neuro-cognitifs responsables des effets de positivité avec l'âge. Dans certaines conditions, la réduction du biais de négativité et/ou l'augmentation du biais de positivité menant à l'observation d'effets de positivité ne sont pas observées ou au contraire sont amplifiées. Nous avons vu dans le chapitre II que les modulations dans les traitements perceptuels dépendent d'une compétition/interaction entre des processus relatifs à l'attention exogène, dépendant des propriétés intrinsèques du stimulus et des processus relatifs à l'attention endogène, lesquels sont plus de l'ordre du contexte dans lequel le stimulus est traité (*e.g.*, buts, motivations et état du participant, contextes perceptif et cognitif). Dans un premier temps, nous verrons que tous les stimuli ne sont pas affectés de la même manière par l'âge. L'apparition des effets de positivité semble dépendre des caractéristiques émotionnelles (valence ou niveau d'activation) et de la pertinence motivationnelle des stimuli. Dans un deuxième temps, nous détaillerons les facteurs contextuels émotionnels liés au participant (tel que son humeur), ou liés au paradigme, tels que la présence d'autres stimuli émotionnels ou le type de tâche à réaliser, lesquels peuvent favoriser ou empêcher la mise en place des processus relatifs aux effets de positivité.

1. Modérateurs relatifs aux caractéristiques émotionnelles des stimuli

1.1. Effet du niveau d'activation émotionnelle des stimuli

Diverses études basées sur des tâches de jugement émotionnel des situations (*e.g.*, Streubel & Kunzmann, 2011) ou des tâches de mémoire et d'attention (Grühn & Scheibe, 2008 ; Kensinger, 2008 ; Tomaszczyk et al., 2013) laissent suggérer que le niveau d'activation des stimuli (et/ou de valence) est un modérateur de l'émergence des effets de positivité avec l'âge durant le traitement de l'information émotionnelle. L'ensemble des études portant sur les jugements émotionnels est reporté dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6: Récapitulatif des principaux résultats des études comportementales de jugement émotionnel de stimuli selon leur niveau de valence et d'activation. (triés selon le niveau d'activation)

Nombre de participants (Moyenne ou étendue), SJ : Sujets Jeunes, SA : Sujets Agés, S : Variables des participants manipulées ; Stimuli (durée de présentation), C : Variable contrôlée sur les stimuli.

Etude	Participants	Stimuli	Tâches / Techniques principales de l'étude	Jugement émotionnel	Effets
Leigland et al., (2004)	SJ : 36 (17-29) SA : 36 (52-92)	Mots Visages Pos, Neg, Neu C : Valence : Faible C : Activation : Faible	Mémoire	Valence	Pas d'effet de l'âge
Grühn et al., (2005)	SJ : 72 (18-31) SA : 72 (64-75)	Mots (SJ : 1s, SA : 3s) Pos, Neg, Neu C : Valence : Moyenne	Mémoire	Valence	Pos et Neg : SA > SJ
Mather et al., (2004)	SJ : 17(18-29) SA : 17 (70-90)	Images (3s) Jugement émotionnel Neg, Pos, Neu C : Valence : Moyenne C : Activation : Moyenne	Catégorisation IRMf, activité	Activation	Neg: SJ>SA
Kwon et al., (2009)	SJ : 52 (19-30) SA : 52 (65-81)	Images Pos, Neg, Neu S : Coréens C : Valence : Moyenne C : Activation : Moyenne	Mémoire	Valence	Pas d'effet de l'âge
Tomaszczyk et al., (2008)	SJ : 72 (18-25) SA : 72 (61-93)	Images (4s) Pos, Neg, Neu C : Valence : Moyenne C : Activation : Moyenne C : Pertinence : Haute et basse	Mémoire	Valence Activation Pertinence	Pas d'effet de l'âge
Langeslag et al., (2009)	SJ : 19 (19-26) SA : 19 (65-82)	Images (1s) Mémoire Neg, Pos, Neu C : Valence : Moyenne C : Activation : Moyenne	Catégorisation EEG	Valence Activation	Pas d'effet de l'âge
Fischer et al., (2005)	SJ : 24 (20-30) SA : 22 (70-80)	Visages(200ms) Perception visuelle Colère, Neutre	Perception visuelle IRMf, activité	Valence	Pas d'effet de l'âge
Leclerc et al., (2008)	SJ : 17 (19-31) SA : 20 (61-80)	Images d'objet (1s) Perception visuelle Neg,Pos,Neu C : Valence : Moyenne C : Activation : Moyenne	Perception visuelle IRMf, activité	Valence Activation	Pas d'effet de l'âge
Mather et al., (2005) (exp.1)	SJ : 48 (18-29) SA : 48 (65-83)	Images (2s) Pos, Neg, Neu C : Valence : Haute	Mémoire	Valence	Pos : SA > SJ Neu : SA > SJ (plus positif)
Mather et al., (2005) (exp.2)	SJ : 32 (18-39) SA : 32 (64-84)	Images (3s) Pos, Neg C : Activation Haute et basse	Mémoire Attention	Activation	Pas d'effet de l'âge

Suite du tableau page suivante

Suite tableau 6

Etude	Participants	Stimuli	Tâches / Techniques principales	Jugement	Effets
Denburg et al., (2003)	SJ : 26 (35-51) MA : 27 (52-69) SA : 27 (70-85)	Images (20s) Pos, Neg, Neu C : Valence : Haute C : Activation : Haute	Mémoire	Valence Activation	Pas d'effet de l'âge
Wood et al., (2006)	SJ : 20 (19-22) SA : 20 (56-81)	Images (1s) Catégorisation émotionnelle Neg, Pos, Neu C : Valence : Moyenne C : Activation : Haute	Catégorisation EEG	Valence Activation	Pas d'effet de l'âge
Roalf et al., (2009)	SJ : 14 (21-35) SA : 22 (65-80)	Images(1.5s) Habituation Neg,Pos,Neu C : Valence : Haute C : Activation : Haute	Mémoire IRMf, activité	Valence Activation	Pas d'effet de l'âge
Gruhn et al., (2008)	SJ : 53 (18-31) SA : 53 (63-77)	Images Valence, intensité Toutes les gammes de valence et d'activation	Etude spécifique de jugement émotionnel	Valence Activation	Pos : SA > SJ Neg : SA > SJ Neg : SA > SJ Pos : SJ > SA
Streubel et al., (2011)	SJ : 52 (18-30) SA : 52 (61-80)	Images (6s) Pos, Neg C : Activation : Basse et Haute C : Pertinence émotionnelle : colère, tristesse	Etude spécifique de jugement émotionnel	Valence	Basse activation Pos : SA > SJ Neg : SJ > SA Haute Activation Pos : SA > SJ Neg : SA = SJ Colère SJ > SA Tristesse SA > SJ

Les premières informations dont nous disposons pour appuyer cette hypothèse reposent sur l'analyse des résultats des études portant sur les effets de positivité selon le niveau d'activation des stimuli qu'elles ont utilisé, lequel diffère à travers celles-ci. Ces études consistent principalement en des tâches de jugement émotionnel des stimuli sur une échelle de valence et/ou d'activation. Une majorité d'entre elles a investigué les effets de l'âge sur l'évaluation de stimuli moyennement activateurs et ne relatent aucun effet de positivité à travers les différents groupes d'âges (*e.g.*, Leclerc & Kensinger, 2008; Tomaszczyk, Fernandes, & Macleod, 2008). Seules deux de ces études affichent un effet lié à l'âge. L'étude de Grün et collaborateur (2005) observe que les personnes âgées jugent toutes les images

négatives comme plus activatrices que les plus jeunes, tandis que l'étude de Mather et collaborateurs (2004) observe l'inverse.

D'autres études ayant utilisé des stimuli faiblement ou fortement activateurs montrent également des résultats plutôt variables. Par exemple, Mather et collaborateurs (2005, expérience 1) notent que les personnes âgées évaluent plus positivement les images positives hautement activatrices. A l'inverse, d'autres études utilisant des stimuli analogues ne relatent aucun effet d'âge (Denburg, Buchanan, Tranel, & Adolphs, 2003; Mather, Knight, & McCaffrey, 2005 expérience 2).

L'absence d'effet pour la majorité des études et sa variabilité le cas échéant reposent probablement sur le fait que, pour la plupart des études, le report du ressenti n'est souvent qu'un contrôle et se fait lors d'une seconde présentation réalisée après une phase expérimentale, la première présentation du stimulus étant réservée à la tâche d'intérêt pour l'étude. Des effets d'habituation et/ou de mémorisation ont probablement biaisé l'évaluation du ressenti.

Seules quelques études ont évalué directement l'influence du niveau d'activation des stimuli sur l'émergence des effets de positivité avec l'âge lors du traitement de stimuli émotionnels. Dans cette perspective, Grühn et Scheibe (2008) ont demandé à des personnes âgées et jeunes d'évaluer 504 images issues de l'IAPS sur leurs dimensions de valence et de niveau d'activation. La comparaison des courbes de régression (quadratique) de l'activation en fonction de la valence a montré un effet sur les extrêmes (figure 16). Par ailleurs, la relation entre valence et activation apparaît plus linéaire chez les personnes âgées. Les participants âgés ont jugé les images fortement négatives comme plus négatives et plus activatrices. Les images fortement positives, quant à elles, ont été jugées comme plus positives mais moins activatrices (figure 16).

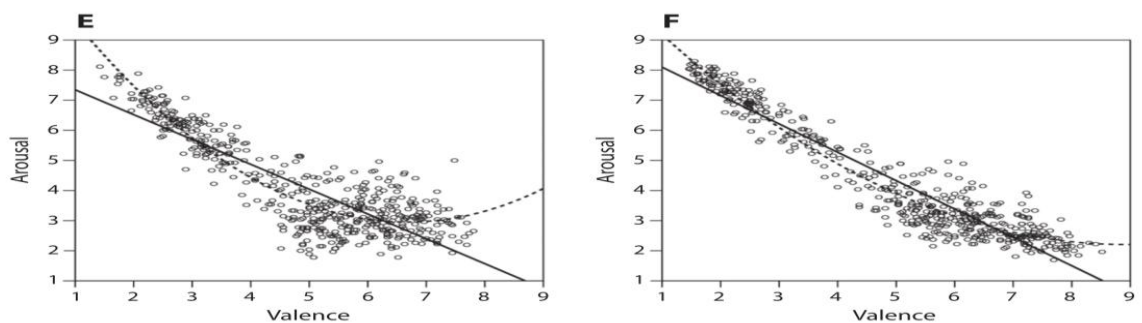


Figure 16: Evolution du ressenti sur la dimension activation en fonction de la valence des images pour les sujets jeunes à gauche et pour les sujet âgés à droite pour 504 images de scène naturelles.

Plus directement, lors d'une tâche de jugement émotionnel (valence, activation) des images de l'IAPS, Streubel et Kunzmann rapportent des effets de positivité pour les images de basse activation (Streubel & Kunzmann, 2011). Pour les images faiblement activatrices, les images positives ont été jugées plus positivement par les personnes âgées comparativement aux jeunes personnes alors que les images négatives ont été jugées moins négativement. En d'autres termes, les images faiblement activatrices ont été vues plus positivement par les personnes âgées par rapport aux personnes jeunes, et ce, indépendamment de leur valence. Quant aux images hautement activatrices, seules les images positives ont été considérées comme plus agréables ; aucun effet n'a été trouvé pour les stimuli négatifs, suggérant que le traitement des stimuli de haute activation, de nature négative particulièrement, serait préservé avec l'âge.

Il est à noter que selon Scherer (2003), le ressenti émotionnel ne serait que la partie consciente de l'émotion. Il serait donc difficile de se fier uniquement aux ressentis émotionnels rapportés par les sujets pour conclure d'une modulation des effets de positivité en fonction du potentiel activateur des situations. Toutefois, d'autres études plus objectives montrent également des effets de positivité selon le niveau d'activation des stimuli, et ce, à travers quelques tâches comportementales testant la mémoire ou l'attention. Dans une tâche de mémorisation de mots, Kensinger (2008) rapporte ainsi un effet de positivité pour les mots de faible intensité (plus de mots positifs de faible intensité que de mots négatifs rappelés) et non pour les mots de haute intensité. Dans une autre étude, Tomaszczyk et collaborateurs (2013) ont demandé aux participants d'indiquer avant mémorisation quelles images seraient, selon eux, mémorisables. Les participants âgés ont alors sélectionné plus d'images mémorisables négatives de basse activation que d'image de haute activation, puis ont rappelé plus d'images négatives de haute activation que d'images de basse activation.

Des tâches de « Stroop émotionnel » ont été également proposées pour évaluer les effets de l'âge en fonction du niveau d'activation des stimuli au niveau attentionnel. Une étude montre un effet de l'âge uniquement pour des stimuli faiblement activateurs (Wurm, 2004, expérience 2). L'identification de la couleur des mots était, en effet, plus longue dans le groupe âgé, et ce, uniquement pour les mots de haute intensité (positifs et négatifs) et non pour les mots de moyenne et basse intensité. Dans une tâche d'identification de cibles auditives introduites à l'intérieur d'extraits musicaux, des temps de réaction plus longs ont été

observés pour l'identification de mots insérés dans un flux audio menaçant et très activateur, et non pour des flux exprimant la joie, l'apaisement ou la tristesse (Vieillard & Bigand, en révision). Ces deux dernières études montrent une facilité d'inhibition attentionnelle pour les stimuli négatifs faiblement activateurs et les stimuli positifs. Les stimuli négatifs hautement activateurs, quant à eux, garderaient avec l'âge un fort pouvoir de distraction et de capture attentionnelle automatique due à leurs propriétés affectives intrinsèques. Des conclusions similaires ont été proposées par Mather (2006) dans une tâche de détection de cibles émotionnelles. L'âge ne toucherait donc que le traitement des stimuli négatifs faiblement activateurs. Les traitements des stimuli négatifs hautement activateurs seraient, quant à eux, préservés.

1.2. Effet de la pertinence motivationnelle des stimuli

Certains théoriciens des émotions (Lazarus, 1991; Levenson, 1999; Scherer, 1998) proposent que la pertinence d'un stimulus évolue avec l'âge de l'individu. La pertinence renvoie aux enjeux motivationnels de l'émotion et pas seulement à sa valeur affective (Sander et al., 2003), c'est-à-dire, à quel point un stimulus va-t-il faire écho avec les motivations et buts de l'individu ? A-t-il les capacités de le contrôler et de le manipuler ? La pertinence est un concept assez dur à appréhender et à dissocier de la valence et du niveau d'activation. Par ailleurs, cette dimension de pertinence est moins consensuelle entre les individus.

Sur la base de quelques travaux, il apparaît que la pertinence motivationnelle (en anglais « relevance ») des stimuli soit un facteur modulateur supplémentaire aux effets de positivité. Par exemple, dans une étude de mémorisation d'images de l'IAPS, Tomaszczyk (2008) montre ainsi que les effets de positivité sur le nombre d'images correctement rappelées ne se révèlent avec l'âge que pour les images évaluées comme peu pertinentes par les participants, et non pour celles à haute pertinence. Streubel et Kunzmann (2011), quant à eux, observent des effets de positivité sur les jugements de valence et d'activation pour les images provoquant la colère, et non pour les images provoquant de la tristesse. Selon certains théoriciens des émotions, la colère deviendrait moins pertinente et moins saillante avec l'âge, contrairement à la tristesse.

Comme supposé par Mather (2006), l'ensemble de ces études comportementales suggèrent que l'émergence des effets de positivité est dépendante du niveau d'activation émotionnelle et de pertinence motivationnelle des stimuli. Plus précisément, ces effets

semblent apparaître uniquement pour les stimuli de faible/moyenne activation et/ou de faible/moyenne pertinence pour l'individu. Le traitement des stimuli de haute activation et pertinence, quant à lui, semble être préservé avec l'âge, en particulier pour les stimuli négatifs (Leclerc & Kensinger, 2008; Mather & Knight, 2006; Vieillard & Bigand, en révision) ou serait, dans certains cas, potentialisé (*i.e.*, réaction émotionnelle plus importante) par rapport aux jeunes (Grühn et al., 2005; Wurm, Labouvie-Vief, Aycock, Rebucal, & Koch, 2004), jusqu'à en être perturbatrice pour la réalisation de certaines tâches (Vieillard & Harm, 2013; Wurm et al., 2004). Toutefois, à notre connaissance, aucune étude, n'a directement évalué au niveau cérébral les effets de positivité avec l'âge selon le niveau d'activation des stimuli. Les seules informations dont nous disposons à ce propos reposent sur l'analyse des résultats des études de neuroimagerie et de neurophysiologie qui ont évalué les effets de positivité (Chapitre III) pour tel ou tel niveau d'activation des stimuli. Parmi les études utilisant des images, 3 études en EEG (Kisley et al., 2007; Langeslag & van Strien, 2009; Wood & Kisley, 2006) ont montré des effets de positivité (*i.e.*, réduction du biais de négativité) sur la LPP, en ayant utilisé des images négatives moyennement activatrices. Pour cette catégorie de stimuli, des études en IRMf ont montré une augmentation de l'activité du cortex préfrontal (Murty et al., 2009) et une réduction de l'activité amygdalienne (Mather et al., 2004). Aucune étude ne mentionne de résultats pour des scènes naturelles hautement activatrices.

Modèles de développement et effet du niveau d'activation

Actuellement, la grande majorité des études concernant les effets de positivité, pour ne pas dire toutes, se réfère à la théorie de sélectivité socio-émotionnelle (TSS) et au modèle de « contrôle cognitif » proposé par Mather (2005, 2012) pour fonder leurs hypothèses et interpréter leurs résultats. Cependant, assez peu d'explications ont été formulées au regard de cette théorie concernant les effets de positivité en fonction de l'activation/pertinence des situations. Une des seules hypothèses à ce propos dans ce modèle suppose que les stimuli très intenses provoquent un tel engagement attentionnel et une telle mobilisation des ressources que les mécanismes de contrôle cognitif relatifs aux effets de positivité ne pourraient se mettre en place, faute de ressources disponibles (Nashiro et al., 2011).

Les deux autres modèles, SAVI et DIT, quant à eux, tendent à expliquer davantage ce lien entre effets de positivité avec l'âge et niveau d'activation des stimuli. Le modèle SAVI intègre notamment le fait que le système nerveux autonome et les réponses physiologiques perdent en flexibilité avec le vieillissement (pour revue De Meersman & Stein, 2007; Dodt et

al., 1994; Ferrari et al., 2003; Folkow & Svanborg, 1993). Ainsi, face à des situations négatives intenses et soutenues dans le temps durant lesquelles la personne âgée n'a d'autre choix que d'y faire face, les réponses physiologiques (e.g. rythme cardiaque ou pression sanguine) augmentent rapidement et se prolongent. L'état de stress est alors maintenu plus longtemps. Le retour à un état stable, dit « homéostatique », est donc plus long. A contrario, pour des situations modérées, puisque la réactivité du système est plus lente, la régulation émotionnelle serait plus facile à mettre en œuvre et serait plus efficace ; elle pourrait se faire avant que le système autonome ne réagisse.

Le modèle DIT, quant à lui, reposant sur un point de vue cognitivo-développemental de l'affect, suppose qu'en cas de déclin cognitif lié à l'âge, les capacités d'intégration des situations présentant un haut niveau d'activation/de complexité affective diminueraient. Or, il faut rappeler que, même dans le cas d'un vieillissement « sain », un léger déclin cognitif a lieu (Chapitre I, 1.2). Tant que les émotions restent peu intenses, les personnes âgées pourraient maintenir un niveau de bien-être satisfaisant. A mesure que l'intensité des émotions augmente, la régulation émotionnelle deviendrait plus problématique, et d'autant plus que le déclin cognitif serait prononcé.

2. Effets modulateurs liés au contexte

2.1. Le contexte émotionnel : état affectif du participant, présence d'autres stimuli émotionnels

2.1.1. Effet de l'état affectif de l'individu

D'autres facteurs externes au stimulus peuvent influencer sur l'observation des effets de positivité. Une étude manipulant l'état émotionnel du participant via des inductions émotionnelles montre que les biais attentionnels changent en fonction de l'humeur des participants (Isaacowitz et al., 2008). En effet, les auteurs observent de plus grands effets de positivité lorsque les personnes âgées sont d'humeur négative, se caractérisant par un plus grand évitement de l'orientation du regard vers les visages négatifs par rapport aux visages neutres, et une plus grande préférence pour les visages positifs. Le pattern inverse, à savoir une augmentation du biais de négativité, est observée pour les sujets jeunes à mesure que l'humeur devient plus négative. Une étude sur la prise de décision montre que plus les

individus âgés sont heureux, plus ils privilégient des choix risqués, contrairement aux sujets jeunes qui ne prennent pas plus de risques lorsqu'ils sont d'humeurs plus positives (Chou, Lee, & Ho, 2007). Une étude réalisée en oculométrie observe, par ailleurs, que les individus âgés les moins anxieux sont ceux qui évitent le plus de regarder vers les visages négatifs (L. O. Lee & Knight, 2009).

En neuroimagerie, il a été observé une plus forte diminution de l'activité amygdalienne et une plus forte augmentation de l'activité du CPFVM pour les stimuli négatifs, chez les personnes âgées présentant les chutes de niveau de cortisol (hormone de stress) les plus rapides au cours de la journée, sous-entendant de meilleures capacités de régulation émotionnelle (Urry et al., 2006). Plus récemment, une étude montre un lien étroit entre le bien-être et les modifications d'activité et de connectivité dans le cortex préfrontal chez les personnes âgées (Waldinger et al., 2011). Cela se traduit, lors du traitement des stimuli positifs, par une plus grande diminution de l'activité du CPF et une plus forte connectivité entre les cortex orbito-frontale, préfrontale ventro-médian, et l'amygdale pour les individus ayant le plus haut niveau de bien-être par opposition aux individus de bas niveau de bien-être qui ne présentent pas d'effet de valence.

2.1.2. Effets du contexte perceptif émotionnel

Par ailleurs, il est avéré que les stimuli sont automatiquement évalués dans leur environnement (Bargh et al., 1992) ; leur traitement dépend ainsi de toutes les autres informations présentées simultanément ou au préalable. Selon différentes études (Goeleven et al., 2010; Smith et al., 2006), ce contexte perceptif affectif dans lequel est présenté le stimulus pourrait favoriser également les effets de positivité. Smith et collaborateurs ont ainsi investigué les modulations au niveau de la composante LPP pour des images de différentes valence selon la valence des images précédentes et de leur probabilité d'apparition (paradigme de type « oddball »). Les auteurs montrent que le biais de négativité peut être réduit selon le contexte affectif, et que certains contextes favorisent un biais de positivité, par exemple, lors d'une tâche de catégorisation émotionnelle de visages appariés. Goeleven et collaborateurs (2010) montrent, par ailleurs, que les personnes âgées catégorisent plus rapidement un visage cible positif lorsque celui-ci est apparié avec un visage distracteur négatif plutôt qu'un visage distracteur positif. Dans cette même configuration, aucune facilitation comportementale n'est constatée pour les sujets jeunes. Aucun effet de l'âge n'est également noté pour le traitement de visages cibles négatifs, et ce, quelle que soit la valence

du distracteur. De plus, lors de tâches implicites dans lesquelles l'émotion n'est pas pertinente, telle qu'une tâche de Stroop-émotionnel, il apparaît que les sujets âgés sont moins facilement distracts que les sujets jeunes par des mots émotionnels, et plus particulièrement quand ceux-ci sont négatifs. Chez la personne âgée, la couleur dans laquelle sont écrits les mots est ainsi donnée plus rapidement quand les mots sont négatifs plutôt que positifs ou neutres (Ashley & Swick, 2009; Lamonica, Keefe, Harvey, Gold, & Goldberg, 2010).

Ces quelques études suggèrent une réduction avec l'âge du pouvoir automatique attractif et distracteur, en termes d'attention, des stimuli négatifs par rapport aux stimuli positifs. Sous l'hypothèse d'une réorientation attentionnelle de type « évitement des émotions négatives », les effets du vieillissement sur le traitement des stimuli négatifs favoriseraient le maintien ou l'orientation vers des cibles plus positives. En d'autres termes, en cas de conflit émotionnel opposant des situations de valence opposée (négative vs positive), cette diminution du pouvoir attractif des négatifs avec l'âge irait à l'avantage d'un biais de positivité (*i.e.*, d'une attention plus importante pour les situations positives). Ce type de pattern pourrait conduire à une plus grande vulnérabilité chez les personnes âgées dont l'attention serait moins facilement attirée par des situations négatives, par exemple, en situation de conduite automobile.

2.2. Le contexte cognitif : influence des capacités et motivations de l'individu et des buts de la tâche

2.2.1. Effets des capacités cognitives

L'humeur et le contexte affectif ne sont pas les seuls facteurs relatifs aux individus pouvant jouer sur les mécanismes associés aux effets de positivité. Plusieurs études attestent d'une modulation des effets de positivité observée chez les sujets âgés en fonction de leurs capacités cognitives. Par exemple, dans une tâche de perception visuelle d'images de visages appariés, Isaacowitz et collaborateurs (2009), montrent, via l'analyse de données oculométriques, que les individus les plus à même d'orienter leur regard vers les stimuli positifs sont ceux qui possèdent les meilleurs scores sur des tâches de contrôle exécutif de tests neuropsychologiques. Le même lien entre capacités cognitives et effets de positivité est retrouvé dans une autre étude (Mather et Knight, 2005, expérience 2, figure 17) utilisant une tâche de mémorisation d'images émotionnelles. Un plus grand biais de positivité, en termes de quantité d'images positives rappelées par rapport aux images négatives, est ainsi observé avec l'âge, et plus particulièrement pour les individus âgés affichant les meilleurs scores sur

des tests neuropsychologiques évaluant les capacités de contrôle cognitif. Ces résultats sont particulièrement cohérents dans l'hypothèse d'un contrôle cognitif comme source des effets de positivité. En effet, la régulation émotionnelle possède un certain coût cognitif (J J Gross, 1998) et nécessite des ressources cognitives pour sa mise en place. Ainsi, les adultes âgés ayant de bonnes capacités de fonctions exécutives et de contrôle cognitif auraient plus de facilité à mettre en place les processus de régulation pour maintenir un niveau de bien-être satisfaisant reflété par des effets de positivité.

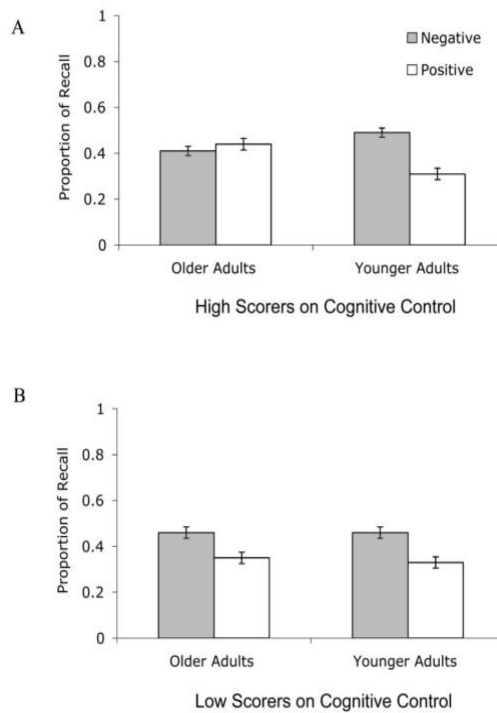


Figure 17 : Proportion d'images rappelées en fonction de la valence, de l'âge et des capacités de contrôle cognitif. En haut les individus avec de hautes capacités de contrôle cognitif, en bas avec de faibles capacités de contrôle cognitif. Extrait de Mather et Carstensen (2005), expérience 2.

Néanmoins, une étude en EEG très récente réalisée sur des personnes âgées (de 53 à 69 ans) semble contredire ces observations (Foster et al., 2013). En effet, il apparaît que l'amplitude de la LPP, sensible à l'engagement attentionnel, soit plus importante pour les images négatives pour les individus ayant de fortes capacités de contrôle cognitif par opposition aux individus avec de faibles capacités. Bien que ces résultats soient plus en accord avec l'hypothèse du déclin cognitif (« Aging Brain Model ») comme cause des effets de positivité avec l'âge, cette dernière étude n'inclut pas de sujets jeunes et ne permet donc pas de dire si, chez les participants à hautes capacités de contrôle cognitif, une réduction du biais de négativité avec l'âge est tout de même observée.

2.2.2. Effets de la tâche

Enfin, l'objectif de la tâche est également un modulateur des effets de positivité, puisqu'elle influence les capacités cognitives du participant et ses motivations. Des auteurs (Knight et al, 2007, Mather & Knight 2005) ont proposé des paradigmes de double tâche afin de diminuer les ressources cognitives disponibles. Dans ces paradigmes, les participants devaient regarder des visages et images émotionnels appariés (Knight et al., 2007), ou mémoriser des images (Mather & Knight, 2005) en même temps que détecter des changements de tons dans un flux auditif diffusé durant toute la durée de présentation des stimuli. Conformément à la littérature utilisant ce type de paradigme, l'analyse des données oculométriques révèle des « effets de positivité » sur les temps de fixations oculaires dans le cas de la simple tâche (sans le flux audio). En revanche, conformément aux hypothèses, ces effets de positivité disparaissent dans le cas de la double tâche (identification d'un bip sonore dans le flux audio), faute de ressources disponibles pour activer les processus de régulation émotionnelle. Un biais de négativité chez les personnes âgées est donc observé (figure 18). Toutefois, ce résultat n'est pas confirmé lorsque les stimuli de la tâche auditive ne sont diffusés que deux secondes au début de la présentation des stimuli visuels (Allard & Isaacowitz, 2008), suggérant que le faible coût cognitif de cette deuxième configuration de tâche auditive soit la raison du maintien des effets de positivité. Ce lien entre faible coût cognitif de la tâche et effets de positivité pourrait justifier l'absence d'effet d'âge observé par Wieser dans une tâche de perception de scènes naturelles émotionnelles présentées rapidement à une fréquence de 3Hz. Le flux d'image très rapide a peut-être engendré un coup cognitif trop important pour les participants, ce qui a donc probablement limité les ressources disponibles pour la mise en place d'une régulation émotionnelle dans le sens du modèle du « contrôle cognitif ».

Ces résultats faisant le lien entre ressources cognitives, motivation et effets de positivité renforcent la validité du modèle du « contrôle cognitif », et sont des arguments de plus pour rejeter le « Aging Brain Model » (pour revue Mather, 2012; Nashiro et al., 2011).

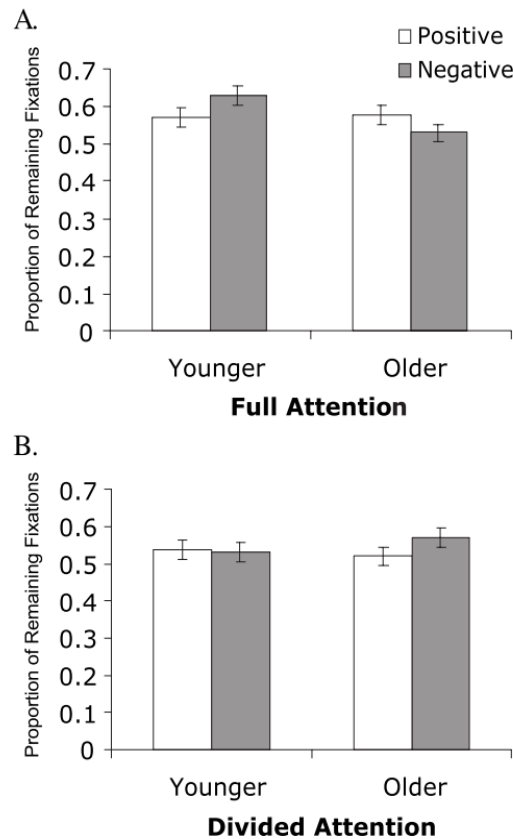


Figure 18: Proportion des durées de fixation pour des images positives négatives appariées à des images neutres en fonction de l'âge et pour une condition de simple présentation ou d'attention divisée (bip sonore à détecter en même temps que regarder les images). Extrait de Knight et al. (2007).

D'autres auteurs ont manipulé les consignes de tâche, non pas pour moduler les ressources cognitives du participant, mais dans le but de manipuler la pertinence des différentes propriétés des stimuli pour la tâche. A cet effet, dans une étude de prise de décision portant sur le choix d'une assurance vie, Lockenhoff et collaborateurs (2007) ont proposé aux participants diverses consignes. Dans une condition, les participants devaient choisir l'assurance vie qui leur convenait ; les auteurs ont alors observé des effets de positivité sur les critères sélectionnés par les participants. Dans le but d'éloigner la pertinence des critères émotionnels de la tâche, les auteurs ont, par ailleurs, proposé aux participants de choisir une assurance vie uniquement sur la base d'informations objectives et de détails spécifiques. Dans cette condition, les effets de positivité chez les sujets âgés n'ont pas été retrouvés ; un biais de négativité a été maintenu chez les personnes âgées comme pour les sujets jeunes. Dans la troisième condition, les participants devaient prendre conscience de leur état émotionnel avant toute prise de décision, les propriétés émotionnelles des stimuli

devenaient ainsi plus pertinentes pour l'individu. Dans cette condition, les auteurs rapportent des effets de positivité uniquement chez les sujets jeunes. Des résultats très similaires ont été observés par Kennedy (2004) sur une cohorte de 309 participants âgés de 47 à 102 ans. Les participants devaient rappeler des événements autobiographiques. Les participants ont réalisé le rappel dans trois conditions différentes : 1) soit ils ne recevaient pas d'instructions particulières, 2) soit les participants devaient se focaliser sur leur état émotionnel pendant le rappel, 3) soit ils devaient se focaliser sur la précision de leur récit. Dans la condition sans instruction, un biais de négativité et un biais de positivité ont été observés respectivement chez les participants les plus jeunes et les plus âgés. Quant aux autres consignes, quel que soit l'âge, l'instruction demandant de se focaliser sur la précision du récit a provoqué un effet de négativité alors que la condition focalisant sur l'état émotionnel a induit des effets de positivité.

Ces études suggèrent deux choses : 1) le degré de pertinence des propriétés émotionnelles pour la réalisation de la tâche module l'observation des effets de positivité. 2) les propriétés émotionnelles des stimuli sont plus pertinentes « par défaut » pour l'individu âgé ; le sujet jeune privilégiant une information plus objective et globale. Ces deux points sont en parfait accord avec la TSS. Selon cette théorie, l'individu en vieillissant délaisserait petit à petit la préparation de son avenir, et donc l'extraction d'informations objectives, et privilégierait les aspects émotionnels faisant les plus sens à sa vie et à son objectif d'élever et de maintenir un certain niveau de bien-être.

Il est à noter que les travaux sur ces effets de consignes de tâche dans l'émergence des effets de positivité ont toujours proposé des tâches affectives (*e.g.*, focaliser sur l'état émotionnel) mettant l'accent sur la valeur affective des stimuli, ou du moins le permettant, ou encore des tâches non affectives sans lien avec l'émotion (*e.g.*, focaliser sur la précision du récit).

Toutefois, comme vu en amont de cette introduction, le traitement des stimuli émotionnels dépendrait également de systèmes motivationnels liés au comportement de l'individu et à son adaptation dans l'environnement. L'étude des liens entre des stimuli émotionnels et les réponses comportementales correspondantes repose notamment sur le rôle fondamental adaptatif de la motivation d'approche et d'évitement (Elliot, 2008). Bien que, dans certaines théories psychologiques, les concepts d'émotion et de motivation sont souvent assimilés aux mêmes propriétés fonctionnelles comme l'activation et le guidage des

comportements (Roseman, 2008) et sont donc non distincts, d'autres, telles que les théories motivationnelles (dans lesquelles s'inscrivent notamment Lazarus, 1991 et Frijda, 1989) placent les motivations sous-jacentes à cette préparation à l'action (*i.e.*, « tendance à l'action ») comme centrales dans la conception des émotions (voir Chapitre II, 2.2). En d'autres termes, pour certains auteurs un stimuli émotionnel provoque une tendance à l'action spécifique d'approche ou d'évitement selon la valence négative ou positive (Chen & Bargh, 1999) ou encore, engage un des deux systèmes motivationnelles que sont le système appétitifs pour les stimuli agréables et défensif pour les stimuli désagréables (Lang & Bradley, 2010). Dans ce sens, certains auteurs défendent l'idée que les processus cérébraux de traitement émotionnel soient organisés en fonction de ces états motivationnels d'approche et d'évitement (Harmon-Jones & Gable, 2009; Harmon-Jones, 2003, 2004, 2006). Dans le cadre du présent travail sur la compréhension des effets de positivité avec l'âge, rappelons que la principale théorie actuelle sur laquelle repose la majorité des interprétations des études, la TSS, postule que les effets de positivité résulteraient de changements sur le plan motivationnel poussant les individus âgés à privilégier leur bien-être et à réguler leurs émotions. A la lumière des théories motivationnelles des émotions, il nous paraît indispensable de considérer la dimension motivationnelle (*i.e.*, « tendance à l'action ») des stimuli dans le présent travail de thèse. La question sous-jacente consiste à déterminer si les effets de positivité seraient toujours maintenus ou éventuellement renforcés lorsque la dimension « action » et ses motivations sous-jacentes (et non la valeur affective), sont au centre du processus d'évaluation des situations émotionnelles, tel que c'est souvent le cas dans un contexte écologique de l'émotion.

Résumé

Dans le chapitre III, nous avons mis en évidence des effets de positivité avec l'âge dans les traitements émotionnels. L'augmentation de la préférence pour les stimuli positifs par rapport aux stimuli négatifs serait principalement due à une modification, avec l'âge, dans le traitement des stimuli négatifs. Au niveau expérimental, une réduction du biais de négativité est ainsi observée. Cependant, certaines conditions expérimentales ne conduisent pas à l'observation des effets de positivité.

En effet, plusieurs études montrent que les caractéristiques émotionnelles des stimuli constituent un de ces facteurs. En particulier, le niveau d'activation des stimuli serait un modérateur important. Plusieurs études comportementales, dans des tâches de mémoire, de catégorisation émotionnelle ou encore de Stroop rapportent un biais de négativité préservé avec l'âge lorsque des stimuli fortement activateurs sont en jeu, alors que des effets de positivité sont observés pour des stimuli faiblement activateurs (*e.g.*, Kesinger, 2008).

Des facteurs extérieurs aux stimuli ont aussi été identifiés. Ces facteurs incluent le contexte émotionnel dans lequel le stimulus est traité. L'état affectif négatif et la présence d'autres stimuli émotionnels négatifs non pertinents pour la tâche demandée aux participants âgés semblent favoriser les effets de positivité (*e.g.*, Goeleven & De Raedt, 2010). D'autres facteurs plus cognitifs semblent jouer sur l'observation des effets de positivité. Par exemple, les participants ayant les plus faibles capacités cognitives sont ceux pour lesquels la réduction du biais de négativité est la plus faible (Mather & Knight, 2005). La tâche, peut aussi constituer un frein à l'émergence des effets de positivité, particulièrement quand cette tâche implique des processus davantage centrés sur le traitement d'informations objectives, non émotionnelles.

Chapitre VI - Les Interfaces Cerveau-Machine émotionnelles

Préambule

Dans les chapitres II et III, nous avons présenté plusieurs études en neurophysiologie qui mettent en évidence une influence de l'âge dans les traitements cérébraux des situations émotionnelles. Dans la littérature des sciences affectives, il a été montré que certains traitements cérébraux peuvent être spécifiques des états émotionnels et qu'il était possible d'identifier des signatures propres à ces états. Dans le prolongement de ces travaux, d'autres chercheurs, à la rencontre entre les domaines des neurosciences, de l'ingénierie et du traitement du signal, ont développé des méthodes de détection et de classification de ces signatures en temps réel pour l'élaboration d'Interfaces Cerveau Machine (ICM). De manière générale, ce type de dispositif a pour but d'adapter le comportement d'une machine en fonction des états cognitifs d'un utilisateur sur la base de la détection et de la classification des signatures cérébrales recueillies à l'aide d'outils de neuroimagerie (*e.g.*, EEG, IRMf). Dans le domaine des émotions, plusieurs applications ont notamment été développées dans le domaine de l'audiovisuel et de la communication et seront présentées dans ce chapitre.

Les chapitres précédents ont montré que l'âge pouvait agir particulièrement sur le traitement des stimuli négatifs, effet qui se traduirait par une dévaluation au niveau de l'engagement attentionnel vers ces stimuli. Cet effet pourrait conduire à une plus grande vulnérabilité chez les personnes âgées dans certaines conditions comme, par exemple, en situation de conduite automobile. Afin d'apporter une solution à cette vulnérabilité, il pourrait être envisageable à très long terme d'avoir une ICM qui, sur la base des signaux neuronaux, pourrait identifier les traitements émotionnels de l'utilisateur et confirmer que les dangers sont bien pris en compte par celui-ci de sorte à déclencher des systèmes de protection dans le cas contraire. Par exemple, en situation de conduite automobile, dans le cas où un danger échappe à l'attention de l'utilisateur, l'ICM prendrait le contrôle du véhicule, ou alerterait l'utilisateur de la présence du danger par un signal sonore, diminuant ainsi le risque d'accidents. L'avantage d'une ICM par rapport à un système complètement automatique est d'avoir une réaction de la machine adaptée à l'utilisateur puisqu'elle prend en compte son état en temps réel.

Cet exemple relève plutôt de l'utopie à l'heure actuelle. Cependant dans le cadre de cette thèse et pour proposer des pistes de solutions pour prévenir des conséquences d'une vulnérabilité due aux effets de positivité, nous nous sommes intéressés à la **reconnaissance et à la détection des émotions sur la base de leurs signaux électroencéphalographiques**. Dans ce chapitre seront présentées les bases de fonctionnement d'une ICM et plus particulièrement les méthodes de détection et de classification employées au niveau du traitement du signal pour étiqueter les signaux neuronaux correspondants aux états cognitifs d'un individu. Dans la dernière partie de ce chapitre, des résultats publiés par certaines études sur la détection d'états émotionnels seront présentés.

1. Présentation générale des Interfaces Cerveaux Machines

Depuis une dizaine d'années, avec les progrès faits dans les domaines des neurosciences et des neuro-technologies (tels que l'EEG, ECoG, iEEG, l'IRMf, et la NIRS⁵) et la rapidité croissante des ordinateurs, il est possible de recueillir les variations d'activité cérébrale d'une personne et de les utiliser dans une interface cerveau-machine (ICM) comme vecteur de communication entre l'homme et la machine (Lotte, Van Erp, & Tangermann, 2012). Ainsi, une ICM peut permettre à une personne de communiquer son intention au monde extérieur simplement par la « pensée » sans dépendre des canaux de sortie habituels de type commande motrice (*e.g.*, boutons, leviers) (J. R. Wolpaw, Birbaumer, McFarland, Pfurtscheller, & Vaughan, 2002). La très large majorité des ICM détermine l'activité cérébrale à partir de signaux EEG car cette technique de neuro-imagerie répond à plusieurs exigences :

- la précision temporelle des données permet de créer des ICM réactives.
- la technique de recueil de l'activité cérébrale est non invasive donc sans danger pour les utilisateurs.
- l'ergonomie au niveau de l'appareillage du sujet est correcte : il faut compter une quinzaine de minutes pour équiper un utilisateur avec un casque EEG à haute densité, moins d'une minute pour un casque basse densité à électrode sèches. Les nouveaux casques EEG sans fil donne également au sujet une très grande liberté de mouvement.

⁵ EEG = électroencéphalographie ; ECoG : électrocorticographie ; iEEG : électroencéphalographie intracrânienne ; IRMf : Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ; NIRS : « Near-Infrared Spectroscopy » ou spectroscopie par proche infrarouge.

-le coût d'un EEG est relativement modeste par rapport à d'autres techniques de neuroimagerie.

La technique EEG présente tout de même quelques désavantages: i) sa sensibilité aux artefacts notamment, dont les effets peuvent être minimisés via des techniques adaptées de traitement du signal, et, ii) son imprécision spatiale.

Par ailleurs, il existe plusieurs types d'ICM définis par leur relation entre la machine et l'utilisateur. Dans le cas des ICMs dites « actives », le sujet module volontairement son activité cérébrale à un instant donné pour provoquer une réaction de la machine. L'exemple le plus simple de ce genre d'ICM est le « brain switch » c'est-à-dire le contrôle d'un interrupteur par la pensée. Après une phase d'entraînement et donc une phase d'adaptation mutuelle entre l'individu et la machine, le participant, en modulant volontairement son activité cérébrale, contrôle l'activation de l'interrupteur. A contrario, dans le cas des ICMs dites « passives » qui sont aussi parfois appelés interface à interaction implicite (George & Lécuyer, 2010), le participant ne module pas consciemment son activité cérébrale mais la machine va réagir aux différents états mentaux pour lesquels elle a été entraînée, un peu à la manière d'un capteur cardiaque qui émet un bip si le cœur dépasse une fréquence limite. Les réactions de ces « ICM » passives sont donc indépendantes de la volonté de l'utilisateur et il n'y a pas nécessairement de « feedback » renvoyé à l'utilisateur.

Afin d'améliorer les performances et la réactivité des ICM, d'autres données sur l'utilisateur peuvent être récupérées en complément de son activité cérébrale, ce sont les ICM « hybrides » (Pfurtscheller et al., 2010). Par exemple, sont ajoutés aux signaux cérébraux l'activité cardiaque, l'activité électrodermale, l'orientation du regard, le diamètre de la pupille.

2. Exemple d'applications

2.1. ICM actives

A l'origine, les ICM ont été mise au point pour permettre aux personnes handicapées physiquement ou ayant des troubles pour réaliser une activité motrice (*e.g.*, personnes tétraplégiques, atteintes de « locked in syndrom ») de retrouver une partie de leur autonomie et leur permettre de communiquer. Les premières ICM étaient de type actif et de nombreuses

applications ont été proposées telles que la commande d'un bras articulé, écrire par la pensée, ou encore diriger un fauteuil roulant. Le champ d'application s'est élargi depuis. On trouve des applications en domotique (ouvrir les volets d'une maison, allumer la télé...), dans le domaine des jeux vidéo pour manipuler l'environnement virtuel en complément ou en remplacement d'une manette (Holzner, Guger, Edlinger, Gronegess, & Slater, 2009; Mandel et al., 2009; Valbuena, Cyriacks, Friman, Volosyak, & Graser, 2007).

2.2. ICM passives

Les ICM passives, fondées sur un changement d'activité cérébrale involontaire, vont plutôt servir à enrichir la communication entre la machine et l'individu puisqu'elles vont permettre d'obtenir des informations sur ses états cognitifs ou émotionnels. Des auteurs et concepteurs ont proposé un logiciel éducatif s'adaptant à l'élève en proposant des exercices en fonction de sa fatigue mentale (Molina, Tsoneva, & Nijholt, 2009). D'autres proposent d'utiliser des ICM pour renvoyer des informations à l'utilisateur sur son état cognitif, technique appelée neurofeedback. Ce type de système peut être utilisé pour effectuer des thérapies. L'utilisateur qui a ainsi un retour sur son état, peut apprendre à moduler, à contrôler son activité cérébrale et à se placer dans des états particuliers. Cela peut aussi être utile pour des opérateurs travaillant sur poste de commande qui doivent traiter beaucoup d'information (contrôleur aérien) ou pour des pilotes et conducteurs de véhicules (Putze, Jarvis, & Schultz, 2010). L'interface pourrait entre autre prévenir l'opérateur en cas de fatigue ou de baisse de vigilance trop importante, et lui suggérer de faire une pause.

Assez récemment, de nombreuses applications ont été proposées dans le cadre d'ICM fondées sur la détection d'états émotionnels. Sourina, Liu, & Nguyen, (2011) ont mis au point une ICM qui sélectionne automatiquement la musique à diffuser dans un casque audio parmi une liste de lecture et choisit celle qui correspond le mieux à l'humeur de son utilisateur. D'autres proposent d'adapter le niveau de difficulté d'un jeu vidéo en fonction de l'état de stress du joueur ou d'adapter le scénario en fonction de réactions émotionnelles suite à des événements particuliers (Garcia-Molina, Tsoneva, & Nijholt, 2013). Dans le domaine de la communication, des auteurs proposent de détecter en direct l'état émotionnel d'un utilisateur et de modifier l'expression de son avatar en conséquence (Liu, Sourina, & Nguyen, 2010), d'autres proposent que des ICM peuvent permettre un étiquetage automatique de média regroupé dans des banques de données (*e.g.*, Youtube, Facebook, IAPS) sur des dimensions émotionnelles (Soleymani, Pantic, & Pun, 2012).

3. Principes de fonctionnement

Une ICM comprend un système d'acquisition permettant de recueillir l'activité cérébrale de l'utilisateur et de le transformer en signal numérique. Ensuite, un système numérique, souvent un système informatique, transforme ce signal en une sortie simple qui modifie l'état de la machine (figure 19). Tout l'enjeu des ICM est donc de trouver une fonction f qui pour un signal donné \mathbf{X}_i est capable d'assigner l'état mental y_i correspondant (appelé aussi classe), soit avec i l'indice de l'essai:

$$y_i = f(\mathbf{X}_i)$$

Cette fonction $f(.)$ se décompose en deux grandes étapes : une étape de prétraitement, d'extraction et de sélection des caractéristiques puis une étape de classification. Après les prétraitements des données, qui sont assez similaires aux techniques habituelles en EEG, le but de la première étape est d'appliquer des techniques de traitement du signal pour transformer les signaux en « caractéristiques » qui vont servir à la discrimination (*i.e.*, extraction des caractéristiques) comme par exemple la valeur de la puissance dans la bande alpha, beta, ou gamma. Ensuite, la sélection des caractéristiques consiste à ne conserver que les caractéristiques pertinentes relatives à des états/processus émotionnels et à les projeter dans un nouvel espace mathématique où les différents états émotionnels pourront être discriminés plus aisément. Pour plus de simplicité, l'ensemble de cette première étape sera appelé « extraction des caractéristiques » qui consiste à appliquer une fonction g transformant les signaux neuronaux \mathbf{X}_i en vecteur de caractéristiques \mathbf{v}_i soit

$$\mathbf{v}_i = g(\mathbf{X}_i)$$

La seconde étape dite de classification, utilisant des algorithmes mathématiques, consiste à affecter une classe à chaque vecteur de caractéristiques, autrement dit, à appliquer une fonction h sur les vecteurs \mathbf{v}_i pour en déduire l'état mental y_i .

$$y_i = h(\mathbf{v}_i) = h \circ g(\mathbf{X}_i)$$

La sortie y_i peut-être de type discret, comme prendre la valeur 1 ou -1 correspondant chacune à deux classes dans le cas d'un **problème binaire**, mais peut aussi prendre pour valeur une probabilité d'appartenance à une classe.

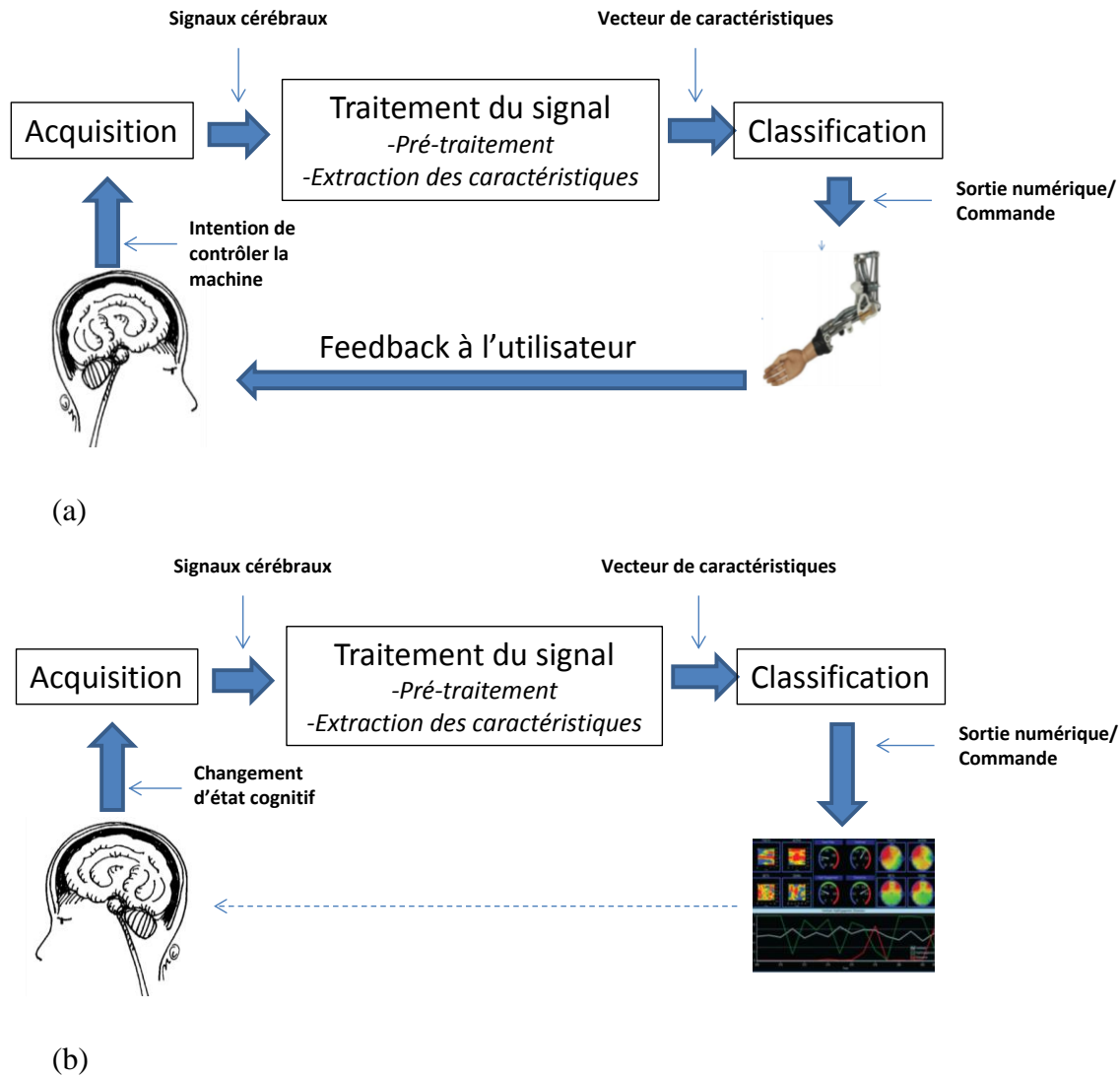


Figure 19 : Schémas descriptifs du fonctionnement d'une ICM (a) « active » (b) « passive ». Inspiré de (Molina, Tsoneva, et al., 2009)

Les deux étapes d'extraction de caractéristiques et de classification fonctionnent ensemble. L'une ne va pas sans l'autre. Il y a une multitude de techniques de traitement du signal possibles et adaptées aux signaux EEG pour l'étape de prétraitement et extraction des caractéristiques ainsi qu'une multitude de méthodes de classification du domaine du « machine learning ». Néanmoins, le choix de la méthode de classification dépend de la technique d'extraction des caractéristiques et inversement. Un classifieur linéaire de type FLDA (Fisher Linear Discriminant Analysis), par exemple, requiert que les caractéristiques soient situées dans un espace où elles sont linéairement séparables. Dans ce cadre-là, certaines méthodes utilisent un noyau (« kernel »), pour se placer dans un espace où les caractéristiques seront sûrement linéairement séparables.

Par ailleurs, la sélection des caractéristiques peut être, selon les algorithmes de classification, intégrée au classifieur ou indépendante.

De l'interdépendance de ces deux étapes provient une des difficultés de mise en œuvre des ICMs. En effet, les algorithmes de classification sont des fonctions à plusieurs paramètres et une étape d'apprentissage est nécessaire pour fixer la valeur de ces paramètres. Avant de fonctionner, la machine doit donc être entraînée à l'aide d'essais, dont elle connaît la classe, qui vont servir à calibrer le classifieur (figure 20). On parle alors de classification dite « supervisée »⁶. Or, le temps d'apprentissage et le nombre d'essais nécessaires pour fixer les paramètres de la machine dépendent de la technique utilisée mais surtout du nombre de paramètres du classifieur qui eux-mêmes dépendent de la dimension du vecteur de caractéristiques. Comme le nombre d'essais et la durée d'entraînement sont souvent réduits et que le but est d'obtenir les meilleures performances en classification, il s'agit de trouver le juste compromis entre le nombre de caractéristiques à extraire et la durée de la phase d'entraînement. L'étape d'extraction des caractéristiques est donc cruciale et un grand soin doit être accordé pour extraire au plus juste l'information pertinente et discriminante.

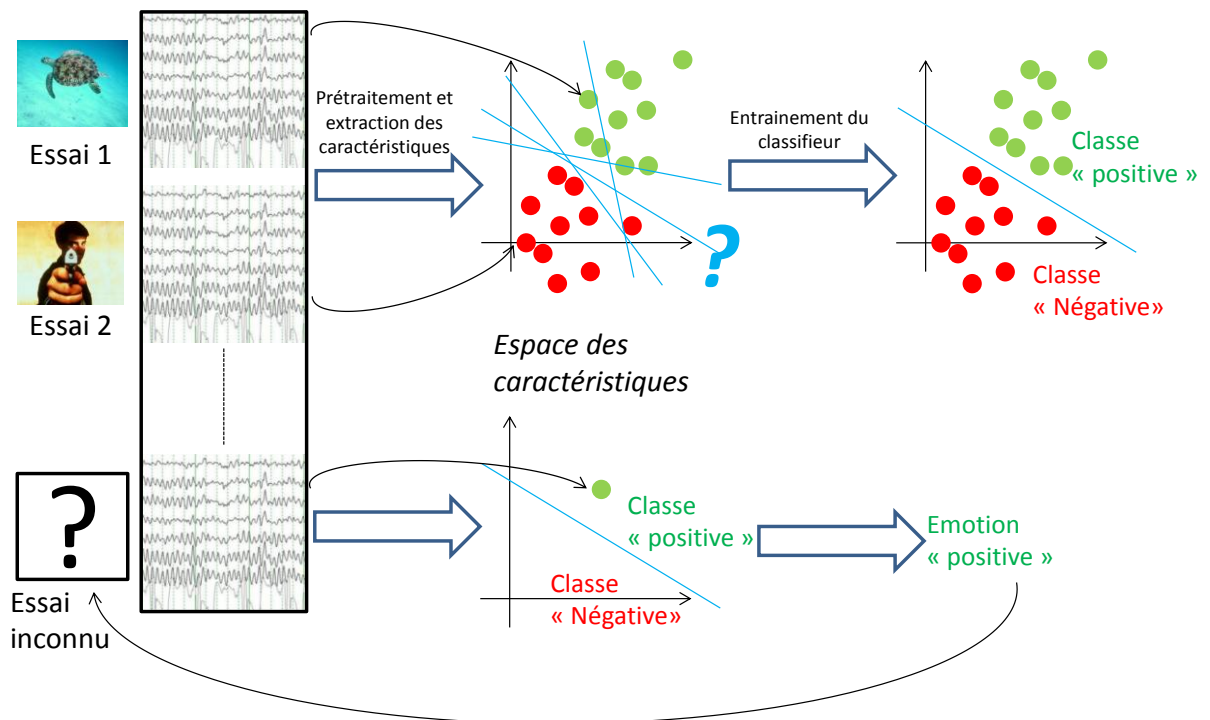


Figure 20: Processus de classification. En haut entraînement du classifieur, en bas utilisation du classifieur pour catégoriser un essai inconnu

⁶ Dans le cas contraire d'une classification dite « non-supervisée », l'algorithme d'apprentissage ne connaît pas les classes des essais mais cherche à fixer les paramètres permettant d'obtenir des groupes d'essais distincts.

3.1. Traitement du signal : prétraitement et extraction des caractéristiques

Afin d'améliorer les capacités d'une ICM, différents types de prétraitements des signaux peuvent être envisagés comme par exemple un filtrage fréquentiel souvent passe bande entre 1 et 30Hz qui permet d'éliminer un certain nombre d'artefacts et de bruits liés au courant électrique situé à 50Hz. Des méthodes spécifiques sont utilisées aussi pour corriger les mouvements oculaires ou supprimer les artefacts liés aux clignements des yeux.

Vient ensuite la sélection des caractéristiques qui peut se faire soit spatialement soit temporellement soit les deux combinées. Le travail de filtrage et d'extraction des caractéristiques peut se faire aussi bien dans le domaine temporel (*i.e.*, potentiels évoqués) que dans le domaine fréquentiel (*i.e.*, spectre de Fourier)

Filtrage spatial

Un enregistrement EEG contient plusieurs signaux synchrones et la taille des données peut rapidement être un problème. Des techniques de traitement du signal permettent de transformer le signal des électrodes en une ou plusieurs combinaison(s) linéaire(s) d'électrodes de manière à maximiser les différences entre classes (*e.g.*, signal filtré de variance élevé pour une classe et de variance faible pour l'autre). Pour des signaux EEG à un instant t noté $\mathbf{x}(t)$ l'application d'un filtre $\mathbf{w} = w_1, w_2, \dots, w_c, \dots, w_C^T$ avec c le numéro de l'électrode, donnera un signal filtré $\mathbf{z}(t)$:

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}(t) = \sum_{c=1}^C w_c x_c(t)$$

Pour cela, il est possible d'appliquer des méthodes de type ACP ou ICA (Ramoser, Müller-Gerking, & Pfurtscheller, 2000) pour constituer des filtres spatiaux. On pourra citer aussi la méthode des « Common Spatial Pattern » (CSP) (Koles, 1991) qui consiste à maximiser la variance des signaux dans une classe tout en minimisant la variance de l'autre classe. Cette méthode est utilisée par exemple dans le cadre de la détection de crises d'épilepsie ou d'imagerie motrice (Hsu, 2011). Parfois le filtrage consiste simplement à ne choisir, sur la base de la littérature, que les électrodes pour lesquelles une activité spécifique reflétant un état mental particulier doit être présente. Dans ce cas-là, le filtre ne contiendra que des valeurs binaires (0 ou 1).

Filtrage temporel

Un des avantages de l'EEG est sa précision temporelle. Cependant, de par cette capacité, un très grand nombre d'informations peut être acquis sur une période de temps très courte. A une fréquence d'échantillonnage de 1000Hz et pour une durée de 3s, cela fait 3000 valeurs par électrode et donc 3000 caractéristiques potentielles sans considérer le nombre d'électrodes. Dans le cas de signaux synchrones (synchronisé avec un événement particulier) le filtrage temporel consiste souvent à déterminer des plages temporelles d'intérêt dans lesquelles extraire les caractéristiques. Dans le cas de signaux asynchrones, il s'agira de découper judicieusement l'ensemble du signal en fenêtres d'analyse de façon à trouver le compromis entre capacité de discrimination dans la période donnée, coût en temps de calcul et réactivité du système. Jrad et Congedo (2012) ont proposé de conserver les instants temporels pour lesquels la « Global Field Power » (GFP)⁷ des signaux (Lehmann & Skrandies, 1980) était statistiquement différente entre deux classes à discriminer.

Une autre méthode couramment utilisée pour réduire le nombre de caractéristiques et qui peut aussi être utilisée spatialement, est la méthode de régression « stepwise » (Brunner, Ritaccio, Emrich, Bischof, & Schalk, 2011; Krusienski et al., 2006). Cette méthode est de type « pas à pas ». A chaque pas, il s'agit d'appliquer un modèle de régression linéaire prédictif des classes sur l'ensemble des caractéristiques temporelles et de ne sélectionner que celles qui sont les plus discriminantes (*i.e.*, ayant la plus forte *p-value* ou dépassant un seuil de *p-value* fixe). Suite à cette régression, les caractéristiques sélectionnées sont mise de côté et une nouvelle itération est effectuée. Cet algorithme peut être amélioré en rajoutant une étape à chaque itération. Cette étape consiste à vérifier que les caractéristiques sélectionnées suite aux itérations précédentes restent significativement prédictives après ajout des caractéristiques discriminantes de l'itération en cours. Le processus peut s'achever de plusieurs manières : un nombre prédéterminé de caractéristiques à sélectionner a été atteint ; il n'y a plus aucune caractéristique pour laquelle la *p-value* dépasse le seuil ; un nombre d'itérations fixé à l'avance a été effectué.

De la même manière que pour les filtres spatiaux, cette étape d'extraction des caractéristiques temporelles peut être facilitée en utilisant les résultats de diverses recherches

⁷ La GFP se calcule simplement en moyennant l'amplitude élevée au carré des électrodes pour un instant donné soit :

$$GFP^2(t) = \frac{1}{C} \left[\sum_{c=1}^C x_c^2 \right] t .$$

neuroscientifiques qui peuvent nous fournir des a priori sur les caractéristiques temporelles à extraire relativement aux ondes mises en jeu.

3.2. La classification

Dans le cadre de cette thèse, seule la classification binaire linéaire et donc la discrimination entre deux classes sera abordée.

Le but de cette étape de classification consiste à estimer la classe d'appartenance des signaux EEG sur la base du vecteur de caractéristiques transmis à l'algorithme de classification.

$$y_i = h(\mathbf{v}_i)$$

Comme indiqué précédemment, une phase d'apprentissage est nécessaire dans le cas d'une classification supervisée. Durant cette phase, il s'agira d'apprendre à l'algorithme à faire la distinction entre plusieurs états mentaux et donc de définir la fonction h de manière à associer au mieux les couples essai/classe $y_1, \mathbf{v}_1, y_2, \mathbf{v}_2, \dots, y_i, \mathbf{v}_i, \dots, y_l, \mathbf{v}_l$. Une association parfaite étant pratiquement impossible, le but de l'apprentissage sera donc de trouver les paramètres de h , permettant de minimiser l'erreur entre la sortie estimée y_i et la sortie théorique y_i . Dans le cas d'une régression, le critère d'erreur à minimiser est l'erreur au sens des moindres carrés soit :

$$h = \operatorname{argmin}_h \sum_{i=1}^l [\mathbf{y}_i - h(\mathbf{V}_i)]^2$$

Ensuite une phase de test permet d'évaluer les performances globales de l'ensemble de la chaîne de traitement. Dans cette étape, il s'agit de présenter à la chaîne de traitement des nouveaux essais non présentés qui n'ont pas été utilisés lors de l'apprentissage et de comparer l'étiquetage de ces essais proposé par la machine avec leur classe réelle d'appartenance. L'objectif est d'atteindre un taux de 100% de classification. Néanmoins, d'autres paramètres de performances peuvent être pris en compte dans l'élaboration d'une ICM, entre autre sa réactivité (*i.e.*, temps mis en direct pour étiqueter un essai depuis l'acquisition du signal), la durée de la phase d'apprentissage ou encore le taux de faux positifs et le taux de faux négatifs. Il existe un très grand nombre de méthodes permettant la classification de signaux. Nous allons présenter les plus courantes.

Analyse Discriminante Linéaire de Fischer

La méthode de classification la plus couramment utilisée est l'Analyse Discriminante

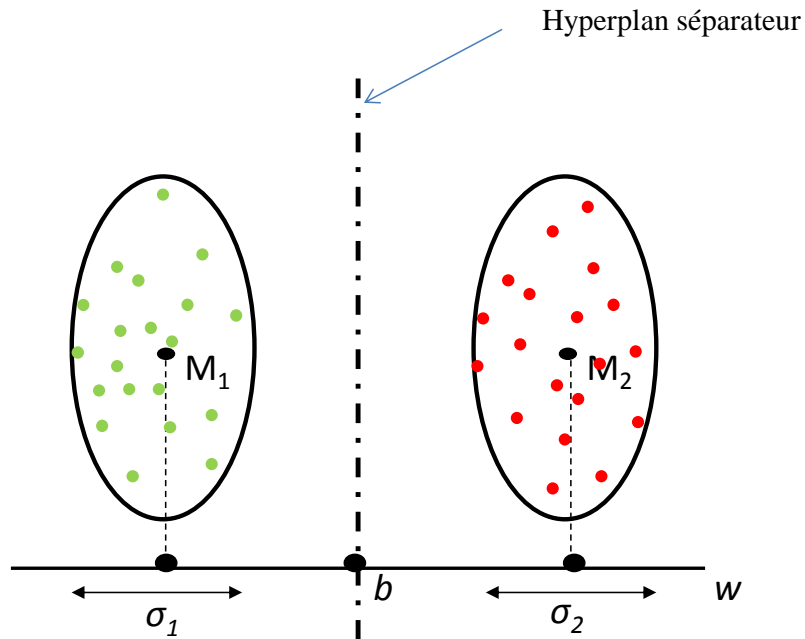


Figure 21: Classification FLDA. Les deux classes sont représentées par les ellipsoïdes de centre M . y est la composante qui maximise l'écart entre les centres tout en minimisant la dispersion σ de chacune des classes.

Linéaire de Fischer (FLDA) qui a fait ses preuves en BCI dans sa version régularisée, robuste, rapide et intuitive (Blankertz, Lemm, Treder, Haufe, & Müller, 2010). Cette méthode consiste à projeter les caractéristiques dans un nouvel espace contenant des composantes qui sont calculées de manière à maximiser la différence entre les classes tout en minimisant la dispersion de chacune des classes (figure 21). Cette méthode de classification linéaire intègre donc une étape de réduction des données dans sa démarche. Dans le cas binaire la sortie sera 1 ou -1 et s'écrit :

$$h(\mathbf{v}_i) = \text{sign}[b + \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{w}] \text{ avec } b \text{ paramètre de biais et } \mathbf{w} \text{ un vecteur de poids.}$$

Séparateur à Vaste Marge

Une autre méthode très performante de classification appelé « SVM » (Séparateur à Vaste Marge) est aussi fréquemment utilisée car particulièrement efficace (Garrett, Peterson, Anderson, & Thaut, 2003). Dans le cas idéal où les essais des deux classes sont linéairement séparables, cette méthode consiste à trouver, dans l'espace des caractéristiques, l'hyperplan optimal séparateur des classes de façon à maximiser les distances aux points les plus proches appelés vecteurs de support (figure 22). Lorsque les deux classes ne sont pas linéairement

séparables (cas réel), des fonctions permettent à l'algorithme de converger sur la base de critères à minimiser, comme par exemple la minimisation des distances des erreurs de classification sur la base d'apprentissage. Bien que la méthode soit assez robuste à l'augmentation du nombre de caractéristiques, elle nécessite d'avoir un nombre conséquent d'essais dans sa base d'apprentissage pour obtenir de bonnes performances.

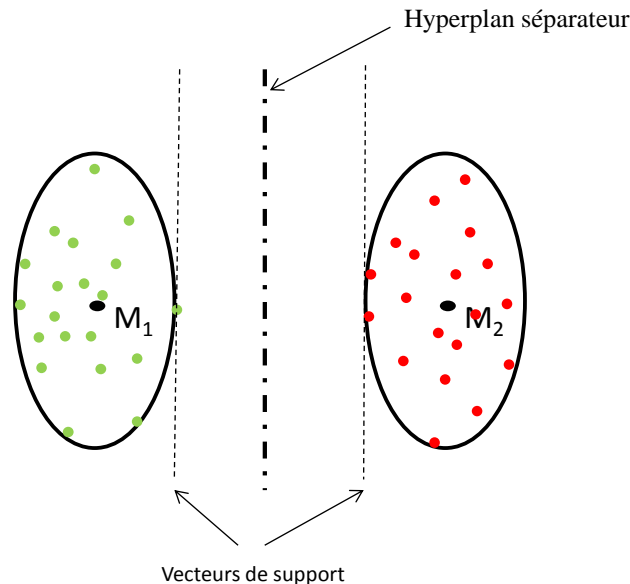


Figure 22: Visualisation d'une classification de type SVM. (cas idéal)

k- Nearest Neighbors (k-NN)

La méthode k -NN (Cover & Hart, 1967) est sur le principe très simple. Pour attribuer la classe d'un essai inconnu, il suffit d'attribuer la même classe que les k essais de la base d'apprentissage dont les caractéristiques sont les plus proches, en termes de distance, de l'essai inconnu (figure 23).

Deux difficultés sont présentes dans cette méthode. La première est de fixer le paramètre k , nombre de plus proches voisins. La deuxième est de trouver le calcul de la distance qui s'adapte le mieux à nos données et à la répartition des classes ainsi qu'à l'espace dans lequel les caractéristiques sont projetées. Couramment, la distance euclidienne est choisie comme critère à minimiser mais des études ont montré de bons résultats en utilisant une distance de Mahalanobis qui tient compte de la variance des caractéristiques dans son calcul (Cincotti et al., 2002). De très bon résultats ont aussi été obtenus en utilisation un calcul de distance dans un espace Riemannien (Barachant, Bonnet, Congedo, & Jutten, 2012).

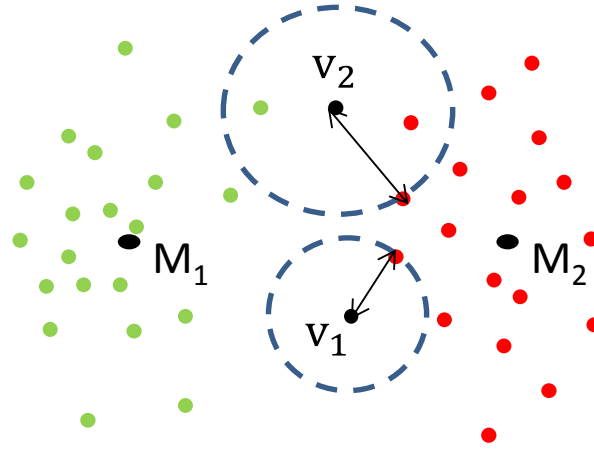


Figure 23: Principe de classification selon une règle de type k-NN. Si l'on décide de classer l'essai 1 sur la base d'un classifieur k-NN avec $k=1$, il suffira de chercher le plus proche voisin qui ici est essai « rouge » et lui attribuer la même classe. L'essai 2 schématise le cas où $k = 3$. Les 3 plus proches voisins seraient recherchés et la décision serait par exemple prise sur un vote à la majorité. Ici la classe de l'essai 2 serait « rouge » (2 sur 3 voisins sont rouge).

Dans notre cas le calcul estimerait les distances entre les matrices de covariances des caractéristiques de chaque essai. Pour un essai y_i de classe inconnue de vecteur de caractéristiques \mathbf{v}_i , il s'agira de trouver l'essai s le plus proche dans la base d'apprentissage qui minimisera la distance soit

$$s = \operatorname{argmin}_s d(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_s)$$

Avec dans le cas d'une distance euclidienne :

$$d_e(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_s) = \|\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_s\|_2$$

Dans le cas d'une distance de Mahalanobis :

$$d(\mathbf{v}_i, \mathbf{v}_s) = \sqrt{(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_s)^t \mathbf{S}^{-1}(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_s)}$$

Ce type de classification présente quelques limites pour des applications temps réel. En effet, pour classer un essai, une comparaison et donc un calcul de distance avec tous les points de la base d'apprentissage est nécessaire.

Classifieur bayésien

Ce type de classifieur repose sur une approche probabiliste. La décision de classification repose sur la comparaison des probabilités d'appartenance à chacune des classes du vecteur de caractéristiques \mathbf{v}_i . D'après le théorème de Bayes la probabilité conditionnelle d'appartenance à une classe c_k s'écrit :

$$P(c_k | \mathbf{v}_i) = \frac{P(\mathbf{v}_i | c_k)P(c_k)}{P(\mathbf{v}_i)}$$

Avec $P(c_k)$, la fréquence empirique de la classe c_k . Les meilleurs taux de classification seront obtenus avec la fonction de discrimination suivante:

$$g_k(\mathbf{v}_i) = \ln P(\mathbf{v}_i | c_k) + \ln P(c_k)$$

Dans l'hypothèse d'une répartition gaussienne des données, $P(\mathbf{v}_i | c_k) \sim N(\boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k)$ avec $\boldsymbol{\mu}_k$ le vecteur de caractéristiques moyen de la classe k , et $\boldsymbol{\Sigma}_k$, la matrice de covariance de la classe k , on obtient (Valenza, Member, & Lanata, 2012) :

$$g_k(\mathbf{v}_i) = -\frac{1}{2}(\mathbf{v}_i - \boldsymbol{\mu}_k)^T \boldsymbol{\Sigma}_k^{-1} (\mathbf{v}_i - \boldsymbol{\mu}_k) - \frac{d}{2} \ln 2\pi - \frac{1}{2} \ln |\boldsymbol{\Sigma}_k| + \ln P(c_k)$$

Il suffit d'appliquer le modèle pour chacune des classes et de choisir celle qui a la plus grande probabilité.

La validation croisée

Comme dit précédemment, toutes ces méthodes nécessitent une phase d'apprentissage pour apprendre les paramètres du modèle et évaluer les capacités de généralisation. De manière à optimiser les essais à disposition pour la phase d'apprentissage et de tests, une méthode dite de « validation croisée » est couramment utilisée pour permettre d'évaluer les performances d'un classifieur. Cette méthode consiste à séparer l'ensemble des signaux en plusieurs partitions dont l'une d'entre elles constituera la base de tests et les autres, la base d'apprentissage. Après apprentissage, une estimation des performances du classifieur est faite sur la base de test. Ensuite, il s'agit de recommencer l'évaluation de la performance en assignant différemment les groupes entre base de tests et d'apprentissages. Le but étant que chaque partition serve une fois comme base de test. La performance du classifieur est obtenue en faisant simplement la moyenne des performances obtenues pour chacune des partitions passées en test.

3. Reconnaissance automatique des émotions : état de l'art

Plusieurs études de références, présentées dans le tableau 7, ont proposé des chaînes de traitement et algorithmes de classification permettant de détecter des états émotionnels à partir de données neurophysiologiques.

Etudes	P	S	Données	Stratégie	Période	Méthode d'extraction des caractéristiques	Détails des caractéristiques	classifieur	classes	Taux de classification (%)	Indice de performance*
(Koelstra, Yazdani, Soleymani, & Mühl, 2010)	6	20 vidéos	EEG	sujets dépendants	30s	CSP	2 composantes	SVM	valence (2)	58,8	117,6
							2 composantes		arousal (2)	55,7	111,4
							4 composantes		Like/Dislike(2)	48,8	97,6
						Power Spectral Density	3Hz	SVM	valence (2)	58,8	117,6
							10Hz		arousal (2)	51,9	103,8
							4Hz		Like/Dislike	49,4	98,8
(Soleymani et al., 2012)	24	20 vidéos	EEG	sujets indépendants	30s	Power Spectral Density	4-8Hz, 8-10Hz, 8-12Hz, 12-30Hz, >30Hz	SVM	arousal (3)	62,1	186,3
									valence(3)	50,5	151,5
			EEG + Eye-tracking					SVM	arousal (3)	71,1	213,3
									valence(3)	66,6	199,8
(Plass-Oude Bos, 2006)	5	36 Audio	EEG	sujets indépendants	5s	PCA	1-25 composantes	FLDA	valence(2)	70	140
									arousal (2)	70	140
		36 images	EEG			PCA		FLDA	valence(2)	65	130
									arousal (2)	65	130
		36 Audiovisuels	EEG			PCA/		FLDA	valence(2)	70	140
									arousal (2)	70	140
(Murugappan Murugappan, 2010)	20	25 vidéos avec son	EEG	Sujets indépendants	Variable	Fréquence/ Puissance	0-4Hz, 4-8Hz, 8-14Hz, 14-32Hz, 32-64Hz, 64-128Hz	KNN	5 émotions (dégout, joie, surprise, peur, neutre)	55,87	279,4
						Standard déviation				62,46	312,3
						Variance				56,1	280,5
						Energie				83,26	416,3
						Fréquence/ Puissance	0-4Hz, 4-8Hz, 8-14Hz, 14-32Hz, 32-64Hz, 64-128Hz	LDA		63,4	317
						Standard déviation				71,73	358,7
						Variance				64,56	322,8
						Energie				75,21	376,1

*Indice de performance = taux de classification x nombre de classe

Tableau 7 : Tableau des études et résultats sur la classification d'états émotionnels. P : participants, S : Stimuli

Suite Tableau

Etudes	P	S	Données	Stratégie	Période	Méthode d'extraction des caractéristiques	Détails des caractéristiques	classifieur	classes	Taux de classification (%)	Indice de performance*
(Chanel, Kronegg, Grandjean, & Pun, 2005)	4	100 images	EEG	sujets dépendants	6s	Fréquence/ Puissance	4-6Hz,6-8Hz,10-12Hz,12-18Hz,22-30Hz,30-45Hz	Classifieur Naïf de Bayes	arousal (2)	60	120
								FLDA	arousal (2)	57	114
								Classifieur Naïf de Bayes	arousal (3)	45	135
			EEG + pression sanguine + EAD + Rythme Cardiaque + respiration + température	sujets dépendants	6s	Fréquence		FLDA	arousal (3)	40	120
								Classifieur Naïf de Bayes	arousal (2)	55	110
								FLDA	arousal (2)	55	110
								Classifieur Naïf de Bayes	arousal (3)	48	144
								FLDA	arousal (3)	42	126
(Petrantonakis & Hadjileontiadis, 2010)	16	60 visages		Sujets indépendants	5s	Fréquentiel/Energie/Fractal Value	Méthode HAF-HOC	SVM	6 émotions de base	85,17	511
(Khosrowabadi, Quek, Wahab, & Ang, 2010)	31	4 images	EEG	sujets indépendants	2s	Carte auto-organisatrice de Kohonen de la cohérence spectrale dans diverses fréquences		KNN	4 émotions (calme, joie, tristesse, peur	82	328
					10s			KNN	4 émotions (calme, joie, tristesse, peur	90	360
					40s			KNN	4 émotions (calme, joie, tristesse, peur	85	340
(Schuster et al., 2010)	20	54 images	EEG	sujet indépendants	750ms	PE, amplitude	LPP	KNN	Valence (3) Positive Négative, Neutre	72,22	216,7

*Indice de performance = taux de classification x nombre de classe

Résumé

Dans les chapitres précédents, nous avons montré que les stimuli émotionnels pouvaient provoquer des signatures cérébrales différentes selon ses caractéristiques. Un domaine en plein essor, celui des Interfaces Cerveau Machine, cherche à identifier et extraire ces signatures neuronales dans un cadre plus applicatif. Ce type de dispositif a pour but d'adapter le comportement d'une machine en fonction des états cognitifs d'un utilisateur sur la base de la détection et de la classification des signatures cérébrales recueillies à l'aide d'outils utilisés en neuroimagerie (*e.g.*, EEG, IRMf). Par exemple, Sourina, et collaborateurs (2011) ont mis au point une ICM qui sélectionne automatiquement la musique à diffuser dans un casque audio parmi une liste de lecture et choisit celle qui correspond le mieux à l'humeur de son utilisateur.

Néanmoins, pour que ce type de dispositif fonctionne sur la base de signatures cérébrales, des algorithmes de traitement et de classification des signaux neuronaux doivent être élaborés pour permettre un étiquetage de ceux-ci et déterminer l'état émotionnel du participant. La détermination de ces états à partir des données acquises fonctionne en deux étapes. Le but de la première étape est d'appliquer des techniques de traitement du signal pour transformer les signaux en « caractéristiques » qui vont servir à la discrimination (*i.e.*, extraction des caractéristiques) comme par exemple la valeur de la puissance dans la bande alpha, beta, ou gamma.. Ensuite, la sélection des caractéristiques consiste à ne conserver que les caractéristiques pertinentes relatives à des états/processus émotionnels et à les projeter dans un nouvel espace mathématique où les différents états émotionnels pourront être discriminés plus aisément. Diverses méthodologies concernant ces deux étapes ont été proposées et utilisées pour détecter et reconnaître des états émotionnels. Dans ce cadre, nous pouvons citer Murugappan (2010) qui arrive à des taux de plus de 80% pour discriminer entre 5 émotions discrètes provoquées par des vidéos. Néanmoins, ces taux sont obtenus sur la base d'une fusion des signaux neuronaux recueillies sur plusieurs participants ce qui a l'avantage d'améliorer le rapport signal sur bruit. La classification n'est donc pas réalisée à l'échelle du sujet. Lorsque la classification est à l'échelle du sujet et de chaque essai, les taux sont beaucoup plus faibles : Chanel et collaborateurs (2005) obtient des résultats convenables, soit 60% de bonnes classifications environ pour deux classes et 45% pour trois classes. Des améliorations sont donc possibles dans ce domaine très récent.

Synthèse théorique et objectifs expérimentaux des études

Les émotions constituent une aide pour la survie de l'individu. Elles provoquent une mobilisation des ressources cognitives et physiques pour permettre à l'individu de s'adapter rapidement à son environnement. Les émotions servent aussi de filtres perceptifs pour sélectionner les informations pertinentes de l'environnement dans un contexte donné. Les stimuli émotionnels sont détectés plus rapidement et provoquent des facilitations dans les réponses comportementales. Selon plusieurs travaux, les stimuli négatifs sont même souvent privilégiés par rapport aux positifs (*i.e.*, biais de négativité). Au cours du vieillissement « sain », le biais émotionnel est conservé mais la préférence pour les stimuli négatifs par rapport aux stimuli positifs diminue (*i.e.*, effet de positivité) comme en attestent les nombreuses études présentées dans le chapitre 2. Autrement dit, la préférence pour les stimuli positifs augmente. Selon certaines théories vues en chapitre 3, la perception réduite de l'avenir motiverait les individus plus âgés à privilégier leur bien-être et à potentialiser les affects positifs. Des processus de régulation émotionnelle se mettraient en place pour réduire l'impact des émotions négatives sur l'humeur, et ce, de manière inconsciente et automatique. Lors du traitement de stimuli négatifs, des influences de type « top-down » du cortex préfrontal sur l'amygdale moduleraient les processus attentionnels. Une stratégie de régulation émotionnelle de type « redéploiement attentionnel » serait privilégiée (Opitz et al., 2012) et les individus âgés éviteraient de porter leur attention sur l'information négative en privilégiant l'information positive.

Dans cette thèse, nous défendons l'idée que les modulations liées à l'âge dans les traitements de l'information émotionnelle pourraient être une source de vulnérabilité pour les personnes âgées. Ce concept renvoie à l'idée qu'une atténuation avec l'âge du pouvoir attracteur des situations négatives en termes d'attention par rapport aux situations positives dû à des processus de régulation de type « redéploiement attentionnel » dégraderait les capacités de l'individu à détecter et à répondre rapidement à des événements pouvant menacer son intégrité. Les effets liés à l'âge dans les traitements émotionnels affecteraient ainsi le potentiel de survie des personnes âgées. Cette difficulté des personnes âgées se poserait d'autant plus en situation de conflit émotionnel opposant un événement positif à un événement négatif potentiellement dangereux.

Toutefois, cette vulnérabilité due aux modulations avec l'âge dans les traitements émotionnels serait propre aux situations dangereuses et resterait relative puisque, selon plusieurs auteurs, les effets de positivité protégeraient la santé mentale de la personne âgée de la dépression notamment (Isaacowitz, Toner, et al., 2009). Par ailleurs, des études montrent que ces effets de positivité ne sont pas systématiques chez les personnes âgées, remettant en cause notre hypothèse de vulnérabilité. C'est ainsi que plusieurs études (Knight et al., 2007; Mather & Knight, 2005) montrent que les préférences attentionnelles pour les stimuli négatifs et positifs sont comparables entre sujets jeunes et âgés dans certaines conditions expérimentales. Selon la littérature, les effets liés à l'âge sur les traitements émotionnels pourraient varier en fonction de caractéristiques propres aux stimuli et en fonction du contexte perceptif et cognitif dans lequel l'individu âgé doit traiter ces stimuli. Des études comportementales et des modèles de vieillissement suggèrent ainsi que la régulation émotionnelle ne pourrait se mettre en place que pour des émotions négatives ayant un niveau faible/moyen d'intensité et/ou d'activation et/ou de pertinence (Streubel & Kunzmann, 2011). Un contexte affectif négatif, tel qu'une humeur négative ou la présence de distracteurs négatifs, favoriserait également les effets de positivité alors que certains contextes de tâche (*i.e.*, consigne de la tâche) le défavoriseraient (Isaacowitz, Toner, et al., 2009). Seulement, aucune de ces études n'indique si le contexte influe sur le traitement des stimuli négatifs et/ou positifs.

Le premier objectif de ce projet de thèse était d'améliorer notre compréhension sur l'origine des effets de positivité, en particulier en cherchant ses facteurs de modulation, afin de mieux identifier les conditions dans lesquelles la personne âgée serait susceptible d'être vulnérable. Cet objectif a été abordé en utilisant à la fois des mesures comportementales et d'électroencéphalographie afin d'évaluer le décours temporel de cet effet sur le traitement de l'information et de caractériser cet effet via sa « signature » cérébrale. Le second objectif était d'évaluer le potentiel de la « signature » cérébrale dans l'élaboration d'une interface cerveau machine qui protégerait son utilisateur quand un déficit attentionnel dû à ces effets de positivité est détecté.

Afin de répondre aux objectifs de la thèse, quatre études ont été réalisées. La première étude présentée au Chapitre VI a été réalisée en EEG et consistait pour des participants jeunes et âgés en une catégorisation émotionnelle d'images de scènes naturelles présentées successivement. Dans cette étude, nous avons étudié, d'une part, si conformément aux hypothèses de la littérature comportementale, les modulations liées à l'âge dans le traitement

des stimuli négatifs dépendent de leur niveau d'activation. D'autre part, nous avons évalué dans quelles mesures, ces stimuli négatifs, qui constituent un contexte affectif, pouvaient favoriser des effets de positivité en fonction de leur niveau d'activation en influençant les traitements des autres stimuli positifs et neutres.

En parallèle de cette première étude expérimentale, des travaux sur l'élaboration d'un système automatique de classification d'états émotionnels sur la base de données électrophysiologiques recueillis chez les participants jeunes et âgés ont été menés et sont présentés dans le Chapitre VII. Ces travaux constituent un premier pas vers l'élaboration d'une interface cerveau machine permettant de protéger un individu quand ce dernier ne détecte pas la menace d'une situation dangereuse. L'objectif de notre système était une détection rapide et la plus juste possible de l'état émotionnel de l'utilisateur provoqué par des stimuli sur la base de son activité cérébrale. Dans ce cadre, une méthodologie innovante d'extraction des caractéristiques pertinentes du signal a été proposée et mise à l'épreuve sur les signaux neuronaux recueillis dans la première étude.

Suite à ces deux premières études, nous nous sommes intéressés à l'effet de consignes de tâche qui semblent jouer un rôle important dans l'observation ou non d'un effet de positivité. Une grande majorité des études a évalué les effets de l'âge sur le traitement émotionnel lors de tâches plaçant la valeur émotionnelle des stimuli au centre de l'évaluation (*e.g.*, tâche de catégorisation basée sur le ressenti émotionnel des situations). Toutefois, le traitement des stimuli émotionnels dépendrait également fortement de systèmes adaptatifs motivationnels liés à la tendance à l'action d'approche ou d'évitement. Selon Scherer, la tendance à l'action est une des composantes du processus d'évaluation cognitive. Selon Frijda, le processus d'évaluation cognitive a pour rôle de conduire à des états de tendance à l'action pour préparer l'individu à s'adapter à son environnement.

Dans une deuxième étude en EEG, présentée dans le Chapitre VIII, nous avons ainsi proposé, aux participants jeunes et âgés, une tâche de catégorisation des stimuli selon la tendance à l'action plutôt que selon l'agrément ressenti et ce, dans le même paradigme que la première étude afin de permettre une comparaison directe. La question sous-jacente consistait à déterminer si les effets de positivité seraient conservés, amplifiés ou inhibés lorsque la dimension de l'action et ses motivations sous-jacentes sont au centre du processus d'évaluation des situations émotionnelles. L'hypothèse défendue était que les situations négatives devraient être encore plus dévaluées par les processus de régulation émotionnelle.

En effet, comme les personnes âgées présentent des capacités physiques amoindries, nous faisons l'hypothèse que les processus de régulation auraient encore plus d'influence sur les traitements de manière à maintenir un haut niveau de bien-être.

Une dernière étude, présentée dans le Chapitre IX, a permis d'évaluer les biais attentionnels avec l'âge dans un paradigme de présentation simultanée de deux stimuli valencés dont l'un devait être ignoré, l'autre catégorisé sur la base du ressenti émotionnel (tâche qui s'est avérée la plus pertinente quant aux effets de positivité). Dans cette étude, nous nous sommes particulièrement intéressés aux situations de conflit émotionnel, opposant une situation positive à une situation négative. Dans un premier temps, cette étude a été déclinée au niveau comportemental pour évaluer l'impact des effets de positivité sur les temps de réponses des participants. Puis, dans un deuxième temps, cette étude a été répliquée en EEG de façon à observer les influences des distracteurs sur les stimuli en fonction de leur valence au niveau des étapes de traitements de l'information et sur les processus attentionnels. Le paradigme utilisé dans cette **étude 4** nous a permis de dissocier les effets liés aux contextes de tâches (motivation associée à la tâche) de ceux liés aux propriétés des stimuli émotionnels modulées par l'âge.

Section expérimentale

Chapitre VII – Effets de positivité, niveau d'activation et contexte affectif

Etude 1 - Processus cérébraux relatifs au traitement de scènes naturelles émotionnelles avec l'âge : effets du niveau d'activation et du contexte affectif.

Cette étude est actuellement en révision dans une revue scientifique à comité de lecture international (Annexe X):

Mathieu N. G., Gentaz E., Bonnet S., Harquel S., Vercueil L., Guillemaud R., Ida M., Campagne, A. (in revision) Brain processing of emotional scenes with age: Effect of arousal and affective context. Plos One

1. Objectifs et hypothèses opérationnelles

Objectifs de l'étude

De nombreuses d'études comportementales, de neurophysiologie et de neuroimagerie montrent que chez les jeunes personnes, les stimuli négatifs engagent plus d'attention et induisent une plus grande activité cérébrale des régions impliquées dans le traitement émotionnel que les stimuli positifs. Au cours du vieillissement sain, ce biais de négativité tend à disparaître et un biais de positivité apparaît, se caractérisant par une préférence plus importante pour les informations positives plutôt que pour les informations négatives. Cet effet de l'âge appelé « effets de positivité » semble principalement lié à une modulation du traitement des stimuli négatifs et dans une moindre mesure de celui des stimuli positifs.

Toutefois, selon plusieurs études comportementales, l'occurrence des effets de positivité avec l'âge dépendrait du niveau d'activation des stimuli. L'effet de positivité serait particulièrement favorisé lors du traitement de stimuli de basse activation. A l'inverse, le traitement des stimuli de haute activation serait relativement bien préservé au cours du vieillissement « sain » (Gruhn & Scheibe, 2008; Kensinger, 2008; Leclerc & Kensinger, 2008; Streubel & Kunzmann, 2011) ,particulièrement pour les stimuli négatifs. Un des objectifs de cette étude est de confirmer ces observations au niveau du traitement cérébral des stimuli négatifs avec l'âge.

Par ailleurs, il a été montré que le traitement des stimuli dépend aussi de toutes les autres informations présentées simultanément ou au préalable (Bargh et al., 1992, Smith et al., 2006). Certaines études suggèrent que le contexte perceptif affectif dans lequel est présenté le stimulus pourrait favoriser les effets de positivité avec l'âge, particulièrement dans un contexte affectif négatif (*e.g.*, Goeleven et al., 2010). Sur la base de cet effet de contexte perceptif et des effets liés au niveau d'activation des stimuli avec l'âge, nous avons souhaité, dans cette étude, évaluer l'influence contextuelle des stimuli négatifs sur le traitement cérébral de stimuli positifs et neutres avec l'âge selon leur niveau d'activation (haute ou basse) et de l'âge des participants. Nous souhaitons ainsi mieux identifier les facteurs responsables des changements dans les biais attentionnels au cours du vieillissement. Notons que le choix de focaliser notre étude sur les modulations du traitement cérébral des stimuli négatifs avec l'âge et de leurs conséquences sur le traitement cérébral des stimuli positifs et neutres est motivé par la prévalence, dans la littérature, des effets de l'âge sur les stimuli négatifs. Notre évaluation s'est principalement basée sur l'analyse cérébrale de l'amplitude de la composante évoquée LPP, laquelle est sensible à la fois au niveau d'activation des stimuli, aux processus attentionnels, et aux processus de régulation émotionnelle. Elle constitue également un indicateur pertinent des effets de positivité.

Hypothèses opérationnelles

Conformément à la littérature, le traitement des stimuli négatifs de haute activation devrait être préservé avec l'âge, contrairement aux stimuli négatifs de faible activation. Plus précisément, nous avons supposé que l'amplitude LPP des stimuli négatifs de haute activation devrait être similaire dans les deux groupes d'âge, alors que celle des stimuli négatifs de basse activation devrait être réduite chez les personnes âgées. Conjointement à cette modification avec l'âge, nous avons supposé que le traitement des stimuli positifs (et neutres) serait modulé particulièrement dans le contexte de stimuli négatifs de basse activation et donc induire une amplitude de la LPP plus importante pour les stimuli positifs (et neutres) dans ce contexte comparativement au contexte de stimuli négatifs de haute activation. Sur la base de ces hypothèses, nous devrions observer un biais attentionnel de négativité similaire chez les personnes jeunes et âgées dans le contexte d'images négatives de haute activation mais un biais de positivité dans le contexte d'images négatives de basse activation chez les personnes âgées uniquement (*i.e.*, réduction dans le traitement des stimuli négatifs à l'avantage du traitement des stimuli positifs avec l'âge, conduisant à un possible biais de positivité).

2. Méthode

2.1. Participants

Quatorze jeunes adultes âgés de 20 à 35 ans (7 hommes, 24.4 ± 1.8 ans; 7 femmes; 27.5 ± 1.4 ans) et quatorze adultes âgés de 60 à 75 ans (7 hommes, 62.3 ± 0.8 ans; 7 femmes; 65.3 ± 1.6 ans) ont participé à l'expérience. Tous les participants étaient droitiers, de culture européenne, parlaient couramment français et étaient de niveau d'éducation équivalent. Les participants ont été sélectionnés à partir d'un groupe de 19 volontaires jeunes et 23 volontaires âgés sur la base de critères médicaux et de 3 tests neuropsychologiques évaluant la santé mentale et cognitive. Ces tests étaient : le Mini Mental State Examination (MMSE), couramment utilisé pour le dépistage des démences séniles, le « Wisconsin Card Test » qui permet d'évaluer les capacités des fonctions exécutives, et la version courte du questionnaire de Beck, une échelle de dépression. L'ensemble de ces tests est présenté dans l'Annexe C. Chaque participant sélectionné avait une vue normale ou corrigée à la normale, ne présentait pas de troubles neurologiques ni neuropsychiatriques, et n'avait pas de traitements médicamenteux susceptibles de moduler les processus émotionnels (*e.g.*, bêta-bloquant). Sur le plan psycho-cognitif, les participants ont été retenus sur la base d'un score minimal au MMSE (Annexe C - 1) de 27 pour les sujets âgés et 28 pour les sujets jeunes (absence de troubles cognitifs, échelle allant de 0 à 30), d'un nombre maximal de 12 erreurs à la version courte du « Wisconsin Card Test » (Annexe C - 2) pour les deux groupes (absence de trouble dans les fonctions exécutives) et d'un score maximum de 4 à la version courte de l'échelle de dépression de Beck (Annexe C - 3), absence de dépression même légère, échelle allant de 0 à 39). Tous les participants ont signé un formulaire de consentement et ont reçu une indemnité de 40€ après l'expérience.

2.2. Stimuli

Les stimuli ont été présentés sur fond noir en utilisant le logiciel E-prime (E-prime Psychology Software Tolls Inc., Pittsburgh, USA) et un écran d'ordinateur de 22 pouces placé à 90 cm du participant. Les stimuli étaient constitués de 180 images de scènes naturelles (avec une résolution de 640 par 480 pixels), projetés sur l'écran de façon à obtenir un angle visuel de 16.4° en largeur et 11.4° en hauteur. Les stimuli comprenaient 60 images négatives, 60 images positives et 60 images neutres. Les scènes étaient des gros plans qui impliquaient

directement le participant (*i.e.*, avec un point de vue à la première personne ; des exemples de scènes sont donnés en Annexe D). Les images ont été sélectionnées à partir de plusieurs banques de données : à savoir l'« International Affective Picture System » (IAPS) (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1997), des banques d'images (libres de droits) proposées par des sites internet, et des images personnelles. Le contenu des scènes était varié et équivalent entre les valences. Les scènes négatives étaient des images d'animaux dangereux (*e.g.*, araignées, serpents, chiens agressifs), d'environnements non sécurisants (*e.g.*, tornade, feu de forêt, tsunami), ou d'individus agressifs (*e.g.*, munies d'une arme, attitudes agressives). Les scènes positives étaient des images d'animaux agréables (*e.g.*, chiots, dauphins), de paysages idylliques (*e.g.*, plages, montagnes), ou d'individus sympathiques et accueillants (*e.g.*, scènes festives, enfants qui jouent). Les scènes neutres avaient un contenu similaire aux deux autres catégories d'images : des environnements, des individus, des animaux, ou des objets non-émotionnels. Les images ont été catégorisées sur la base d'un pré-test effectué par 34 volontaires (20 femmes et 14 hommes, $22.7 \text{ ans} \pm 1.2 \text{ ans}$) présenté en annexe E. Les stimuli négatifs provoquaient tous une émotion de peur. Ils ont été divisés selon leur degré d'activation (évalué sur une échelle allant de 1 à 9, 1 étant le niveau d'activation le plus bas) en deux sous-groupes de 30 images. Le premier sous-groupe contenait 30 images de basse activation ($4.12 \pm .6$), le second contenait 30 images négatives de haute activation (7.48 ± 0.35). Les stimuli positifs évoquaient, quant-à-eux, une émotion de bien-être et un niveau d'activation moyen (5.38 ± 0.8). Enfin, les stimuli neutres se caractérisaient par une absence d'émotion induite et un très bas niveau d'activation (1.2 ± 0.2). La figure 24 montre la répartition des images sur la dimension d'activation. La luminosité et le contraste des images ont été corrigés de manière à ce qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les 4 catégories d'images.

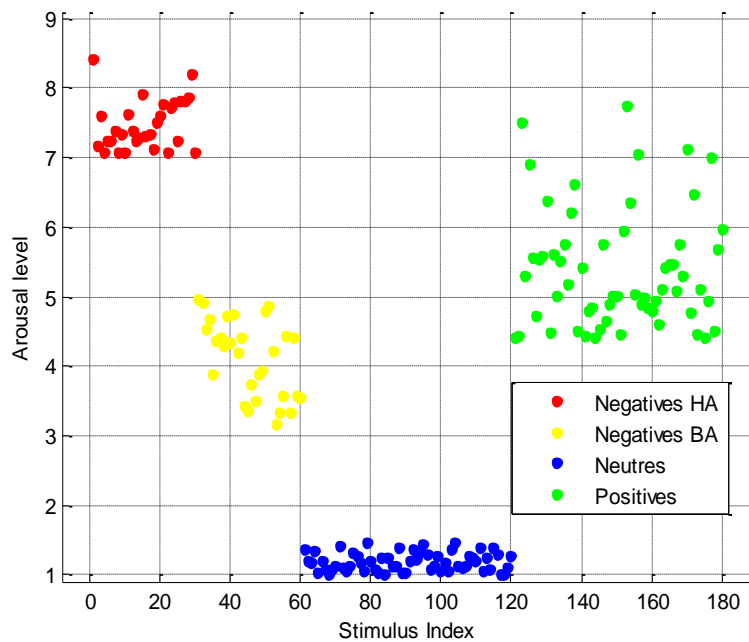


Figure 24 : Niveau d'activation par images en fonction de l'émotion. HA= Haute Activation ; BA = Basse Activation

2.3. Protocole expérimental

Stimuli

L'activité cérébrale a été enregistrée pendant que les participants effectuaient une tâche de catégorisation des scènes naturelles sur la base de leur ressenti émotionnel. Le participant devait indiquer après la visualisation de chaque image s'il avait ressenti une émotion de peur pour son intégrité physique, une émotion de bien-être ou aucune émotion. Les images étaient réparties en deux blocs de présentation de 8 minutes chacun. Une pause avait lieu entre les deux. Chaque bloc consistait en une présentation aléatoire de 30 images négatives, 30 images positives, et 30 images neutres. Les images positives et neutres de chacun des blocs avaient des caractéristiques émotionnelles équivalentes (contenu, degré d'activation, etc...) et leur présentation dans un bloc ou l'autre était contrebalancée entre les sujets de chaque groupe d'âge. Toutefois, les deux blocs différaient par le niveau d'activation des images négatives utilisées. Un bloc contenait le sous-groupe d'images négatives à haut niveau d'activation et l'autre bloc comprenait les images négatives à bas niveau d'activation, de sorte à constituer deux blocs de contexte affectif négatif différents vis à vis du traitement des images positives et neutres contenues dans chaque bloc et équivalentes entre les deux. De cette manière, nous avons pu évaluer spécifiquement l'influence du niveau d'activation des images négatives sur

le traitement des images positives et neutres présentant des caractéristiques émotionnelles (e.g., types de scènes, niveau d'activation) similaires entre les 2 blocs. Pour éviter tout biais expérimental, l'ordre des blocs était contrebalancé entre les participants.

Procédure

Chaque essai (figure 25) commençait par une croix de fixation d'une durée aléatoire comprise entre 1500 et 2000 ms. Puis, une scène naturelle était présentée pendant 1000 ms. La phase de réponse comprenait un point blanc, flashé pendant 300 ms qui indiquait au participant qu'il pouvait répondre, suivi d'un écran noir apparaissant pendant 1700 ms. Les participants avaient pour consigne de « regarder la scène naturelle comme si ils y étaient en réalité » et de reporter leur ressenti émotionnel (« peur », « bien-être », ou « pas d'émotion ») sur le bouton de clavier correspondant (voir figure 25) le plus spontanément possible après la disparition de l'image. Auparavant, les participants ont été familiarisés avec la tâche durant une phase d'entraînement contenant 30 essais différents des essais utilisés pour la phase expérimentale.

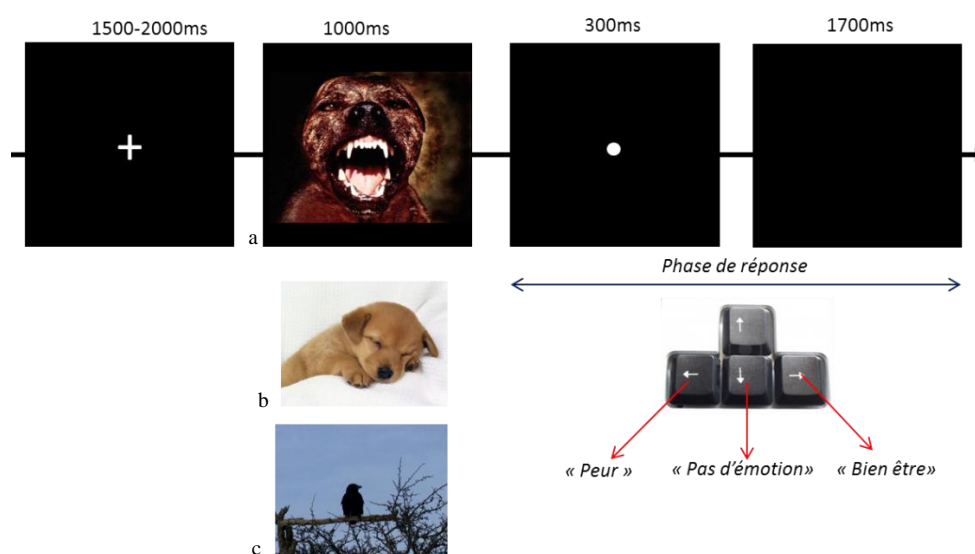


Figure 25: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental. a : négatif; b : positif ; c : neutre

Après l'expérience EEG, afin de contrôler le niveau d'activation des images dans nos deux populations expérimentales, chacune des 180 images ont été présentées aléatoirement une seconde fois pendant 1000 ms chacune et réévaluées sur une échelle continue allant de 1- bas niveau d'activation à 9 – haut niveau d'activation, à l'aide d'un joystick.

2.4. Acquisition, traitement et analyses des données

2.4.1. Données comportementales et évaluation du ressenti subjectif.

Pour chaque participant, le taux moyen de « bonnes réponses » de la tâche de catégorisation émotionnelle a été calculé pour chaque condition expérimentale. Une réponse a été considérée comme « correcte » pour une scène donnée lorsque le participant a indiqué ressentir la même émotion (peur, bien-être, ou neutre) que le groupe de participants du pré-test, c'est-à-dire lorsqu'il y avait congruence entre la réponse du participant et la réponse moyenne estimée sur le groupe pré-test pour une image donnée. Toutes les autres réponses (non-congruentes ou erreurs d'appui bouton du clavier) et les essais sans réponses ont été considérées comme réponses fausses. Les différences dans les taux de réponses correctes ont été évaluées à l'aide d'une ANOVA à mesures-répétées avec l'Age des participants (jeunes, âgés) comme facteur inter-sujets et avec le Contexte affectif (basse activation, haute activation) et la Valence émotionnelle (négative, positive, neutre) comme facteurs intra-sujets.

Le niveau moyen d'activation ressentie reporté par chaque participant pour chaque catégorie d'images après l'expérience EEG a aussi été soumis à une ANOVA à mesures-répétées en utilisant l'Age en facteur inter-sujet et les 4 catégories d'images (négative haute-activation, négative basse activation, positive et neutre) en facteur intra-sujet.

Les comparaisons de moyennes des deux analyses ont été réalisées en suivant une procédure Post-hoc de Tukey. Le seuil de significativité de l'ensemble des analyses statistiques a été fixé à $p = 0.05$.

2.4.2. Données électroencéphalographique (EEG)

Acquisition

L'activité EEG a été enregistrée durant toute l'expérience à l'aide d'un casque Acticap® (Brain Products, Inc.) équipée de 78⁸ électrodes d'Ag-AgCl, positionnées selon le système 10-20 amélioré (Jasper, 1958; Oostenveld & Praamstra, 2001). Les électrodes de référence et de masse utilisées pour l'enregistrement des signaux étaient celles proposées par Acticap®, à

⁸ Midline: Fpz, Fz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz, Iz ; Right hemisphere: Fp2, AF4, AF8, F2, F4, F6, F8, F10, FC2, FC4, FC6, FT8, FT10, C2, C4, C6, T8, CP2, CP4, CP6, TP8, TP10, P2, P4, P6, P8, P10, PPO2h, PPO10h, PO4, PO8, PO10, POO10h, O2, OI2h; Left hemisphere: Fp1, AF3, AF7, F1, F3, F5, F7, F9, FC1, FC3, FC5, FT7, FT9, C1, C3, C5, T7, CP1, CP3, CP5, TP7, TP9, P1, P3, P5, P7, P9, PPO1h, PPO9h, PO3, PO7, PO9, POO9h, O1, OI1h.

savoir, à proximité du vertex (FCz) pour la référence, et à l'avant de la tête (AFz) pour la masse. Les données ont ensuite été re-référencées (hors ligne) à la valeur moyenne des signaux des deux mastoïdes. Les potentiels liés aux clignements et aux mouvements des yeux ont été enregistrés à l'aide de 4 électrodes d'électro-oculographie : 2 électrodes pour détecter les mouvements horizontaux positionnées sur les commissures externes des yeux, et 2 électrodes pour détecter les mouvements verticaux et clignements, une au-dessus et l'autre en-dessous de l'œil gauche. A chaque essai, les participants avaient pour instruction de limiter leurs mouvements oculaires (sources d'artefacts sur les signaux EEG) durant toute la durée de la croix de fixation et de présentation de l'image. L'impédance des signaux était située en dessous de 5 k Ω . Les signaux ont été amplifiés en utilisant un système BrainAmp™ (Brain Products, Inc.) et échantillonnés à une fréquence de 1000 Hz, avec une résolution de 0.1 μ V et un filtrage analogique passe-bas avec une constante de temps de 10s.

Prétraitement

Le traitement de données a été réalisé à l'aide du logiciel BrainAnalyzer™. Dans un premier temps, un filtre passe-bas à 30 Hz a été appliqué. Les données ont ensuite été segmentées en période allant de 350 ms avant l'apparition du stimulus à 1000 ms après l'apparition. Chaque segment a été vérifié visuellement : les essais contenant des artefacts de clignements, de mouvements oculaires importants, d'activités musculaires ou non physiologiques ont ainsi été rejetés. Les artefacts liés aux mouvements oculaires légers ont été corrigés en utilisant une analyse en composante indépendante (ACI). Les données ont ensuite été corrigées par rapport à la ligne de base prise sur la période de 350 ms précédant l'apparition du stimulus. Enfin, afin de mettre en évidence les potentiels évoqués induits par les images, pour chaque participant de chaque groupe d'âge, le signal a été moyenné⁹ à travers les essais sur chaque électrode en fonction de la catégorie émotionnelle des stimuli dans chacun des deux blocs de contexte affectif (*i.e.*, pour le bloc de contexte négatif de haute activation : les stimuli négatifs de haute activation, les stimuli positifs et les stimuli neutres ; pour le bloc de contexte négatif de basse activation : les stimuli négatifs de basse activation, les stimuli positifs et les stimuli neutres).

⁹ Moyenne sur l'ensemble des essais par catégorie d'image pour le contexte négatif de haute activation : Négatives de haute activation $M = 27.6 \pm 1.75$ essais, positives $M = 27.5 \pm 2$ essais, et neutres $M = 27.6 \pm 1.7$ essais ; pour le contexte négatif de faible activation: négatives de faible activation $M = 27.6 \pm 1.63$ essais, positives $M = 27.5 \pm 1.97$ essais et neutres $M = 27.4 \pm 1.97$ essais.

Analyse des données EEG

Nous avons focalisé notre analyse sur le potentiel positif tardif (LPP pour l'anglais « Late Positive Potential ») qui a été identifié sur la base de la grande moyenne des sujets. La composante LPP a été observée dans la plage 400-700 ms après l'apparition des stimuli conformément à d'autres études (Bradley, Hamby, Löw, & Lang, 2007; Ferrari, Bradley, Codispoti, & Lang, 2011; Langeslag & Van Strien, 2008; Langeslag & Van Strien, 2010) au niveau des régions centro-pariétales et mesurée au niveau du pic d'amplitude de la composante à savoir au niveau de l'électrode Pz (Ito, Larsen, Smith, & Cacioppo, 1998; Kisley, Wood, & Burrows, 2007; Schupp et al., 2000; Wood & Kisley, 2006). Pour chaque participant, l'amplitude moyenne du signal pour la période 400-700 ms au niveau de l'électrode Pz a été extraite pour chaque valence émotionnelle des deux blocs de contexte affectif. L'amplitude moyenne de la LPP a ensuite été analysée à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées avec l'Age des participants (jeunes, âgés) comme facteur inter-sujets et avec le bloc de Contexte affectif (basse activation, haute activation) et la Valence émotionnelle (négative, positive, neutre) comme facteurs intra-sujets. Dans le cas où la sphéricité des données n'était pas respectée, nous avons appliqué la correction des degrés de liberté de Greenhouse-Geisser.

Au vue de nos hypothèses opérationnelles, des comparaisons planifiées ont été effectuées sur les deux groupes d'âge, pour chaque valence et en fonction du contexte affectif dans le but d'évaluer 1) les effets de l'âge sur le traitement des stimuli négatifs en fonction de leur niveau d'activation et 2) les effets du contexte affectif négatif (basse activation ou haute activation) sur le traitement des stimuli positifs et neutres (dont les caractéristiques à la base sont identiques entre les 2 blocs de contexte) en fonction de l'âge. Nous avons cherché, en effet, à montrer que l'amplitude de la LPP pour les stimuli négatifs de haute activation ne devrait pas être affectée par l'âge alors que l'amplitude de la LPP pour les stimuli de basse activation devrait être plus faible pour les sujets âgés que pour les sujets jeunes. De plus, nous avons supposé que l'amplitude de la LPP pour les stimuli positifs devrait augmenter dans un contexte négatif de basse activation. Ces effets de positivité, supposé apparaître avec l'âge, sur les stimuli négatifs de basse activation et les stimuli positifs devraient contribuer à la réduction du biais de négativité (Kisley et al., 2007; Wood & Kisley, 2006). Afin d'identifier les préférences et les biais attentionnels entre les catégories d'images en fonction du contexte

affectif et de l'âge, des comparaisons de moyennes ont été réalisées en suivant une procédure Post-hoc de Tukey. Le seuil de significativité a été fixé à $p = 0.05$.

Afin de contrôler si le genre influence le traitement des stimuli émotionnels, et donc l'amplitude de la LPP, une première ANOVA à mesures-répétées a été réalisée avec l'Age et le Genre comme facteurs inter-sujets et le Contexte affectif (basse activation, haute activation) et la Valence émotionnelle (négative, positive, neutre) comme facteurs intra-sujets. Aucun effet du sexe n'ayant été observé, nous avons retiré ce facteur des analyses reportées ci-dessous. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

3. Résultats

3.1. Taux de réponses correctes (% réponses congruentes)

Un effet principal sur le taux moyen de réponses correctes est observé pour le Contexte affectif ($F(1, 26) = 9.24, p < .006$). Les comparaisons de moyennes montrent un taux supérieur pour le bloc correspondant au contexte de haute activation ($89.64\% \pm 2.33\%$) comparé à celui de basse activation ($84.96\% \pm 2.72\%$). Aucun effet principal de l'Age ($F(1.26)=1.48, ns$) et de la Valence ($F(2.52)=0.79, ns$) est observé mais l'interaction Contexte affectif X Valence est significative ($F(2, 52) = 27.67, p < .001$). Spécifiquement, dans le contexte négatif de haute activation, les performances sont significativement meilleures pour les stimuli négatifs de haute activation ($94.41\%, \pm 2.21\%$) que pour les stimuli positifs ($85\%, \pm 2.25\%, p < .001$) et neutres ($89.53\%, \pm 1.80\%, p < .001$). Le pattern opposé est observé dans le contexte de basse activation : le taux de réponses correctes est plus élevée pour les stimuli positifs ($87.86\%, \pm 1.54\%, p < .001$) et neutres ($88.69\%, \pm 1.93\%, p < .001$) que pour les stimuli négatifs de basse activation ($78.34\%, \pm 3.10\%$). Les performances pour les stimuli positifs et neutres sont similaires entre les contextes. Aucune interaction avec l'âge n'est observée.

3.2. Jugement subjectif du niveau d'activation des stimuli

Suite à des problèmes d'acquisition, seuls 22 participants (11 sujets jeunes et 11 sujets âgés) sur 28 ont été inclus dans cette analyse. L'analyse statistique (figure 26) révèle uniquement un effet de la valence émotionnelle sur le niveau d'activation ressenti ($F(3.60)=221; p < .001$). Aucun effet principal de l'Age ($F(3.60)=1.35, ns$), ni même

d'interaction ne sont constatés. Conformément au pré-test, les images négatives de haute activation ($7.04, \pm 0.26$) et les images neutres ($1.1, \pm 0.11$) induisent respectivement les niveaux d'activation les plus élevés et les plus faibles, par rapport aux images négatives de basse activation et aux images positives ($p < .001$ pour toutes les comparaisons 2 à 2). De plus, les images positives (5.54 ± 0.2) provoquent un niveau d'activation plus élevé que les images négatives de basse activation ($4.73 \pm 0.31, p < .001$).

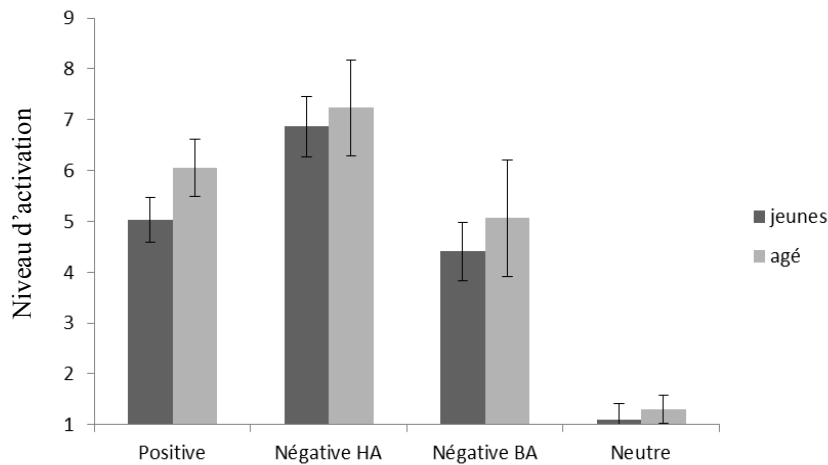


Figure 26: Evaluation du ressenti sur la dimension d'activation en fonction de la valence émotionnelle des stimuli et de l'âge. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95%. HA = haute activation ; BA = basse activation.

3.3. Analyse de l'amplitude de la LPP

La figure 27 montre la topographie des différences d'amplitude moyenne entre diverses catégories d'images. Le nom et la position des électrodes sur le scalp sont donnés en Annexe F. La figure 28 montre les potentiels évoqués enregistrés au niveau de l'électrode Pz (dont celui de la LPP) pour chaque valence émotionnelle et chaque contexte. Conformément à nos hypothèses, l'ANOVA sur l'amplitude moyenne de la LPP révèle un effet principal significatif du Contexte affectif ($F(1, 26) = 6.22, p < .02$) et de la Valence ($F(1.82, 47.3) = 67.60, p < .001$) et des effets significatifs des interactions Valence x Contexte affectif ($F(1.73, 45) = 13.72, p < .001$) et Age x Contexte affectif x Valence ($F(1.73, 45) = 4.48, p < .022$; figure 29), conformément à nos hypothèses.

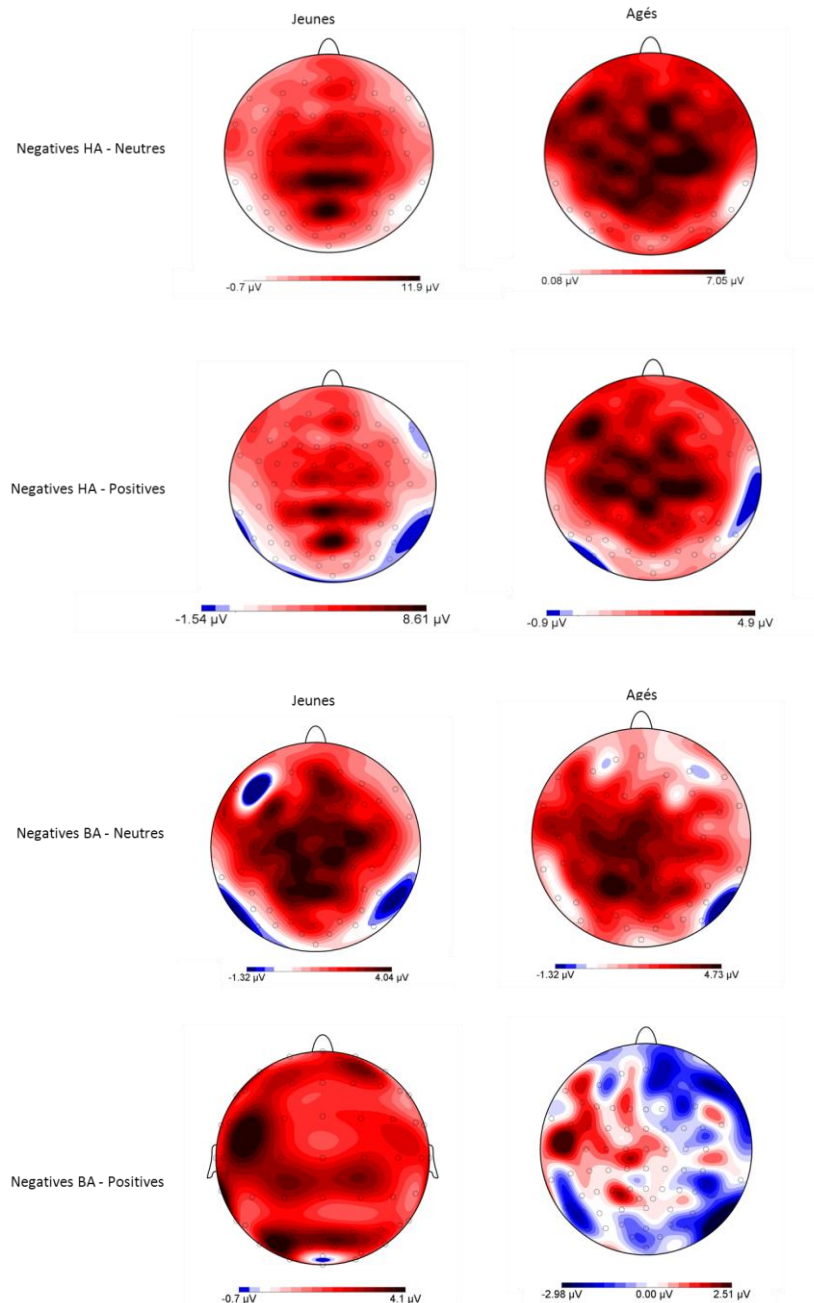


Figure 27 : Topographie des différences d'amplitude de la LPP entre les situations négatives de haute ou basse activation et les situations positives ou neutres pour les deux groupes d'âge (jeunes, âgés).

Plus spécifiquement, les comparaisons planifiées réalisées sur les stimuli négatifs en fonction de leur niveau d'activation montrent que les stimuli de basse activation induisent une amplitude moyenne plus faible que les stimuli de haute activation dans les deux groupes d'âge ($p < .01$ pour toutes les comparaisons). L'amplitude de la LPP pour les stimuli négatifs est aussi plus faible pour les sujets âgés que pour les sujets jeunes, quel que soit leur niveau d'activation ($p < .01$). Toutefois, aucune interaction Age x Contexte n'est observée pour les stimuli négatifs. Le traitement des stimuli neutres tend à varier entre les deux groupes d'âge

selon le contexte affectif considéré ($p < .073$). Bien que ce soit une tendance, nous avons fait le choix de décomposer cet effet. L'amplitude de la LPP pour les stimuli neutres est significativement plus grande pour les sujets jeunes que pour les sujets âgés dans le contexte de basse activation ($p < .05$); aucune effet de l'âge n'est observé pour les stimuli neutres dans le contexte de haute activation. De plus, aucun effet de l'âge n'est observé sur l'amplitude de la LPP des stimuli positifs, quel que soit le contexte.

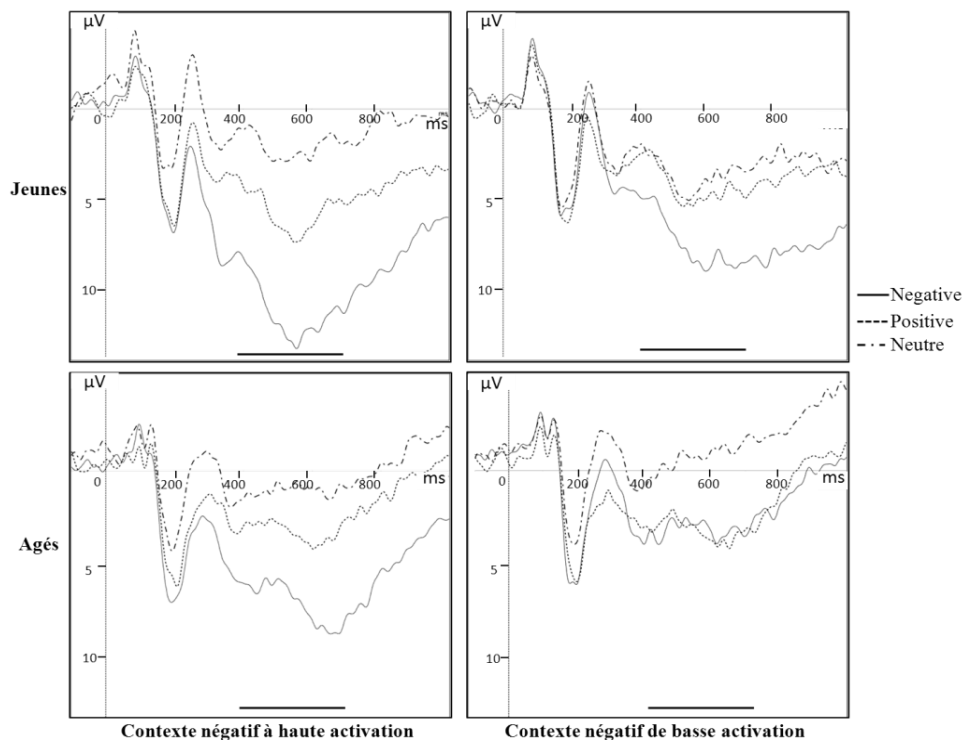


Figure 28: Potentiels évoqués enregistrés au niveau de l'électrode Pz dont la LPP. Le trait plein correspond à la période 400-700 ms de référence utilisée pour extraire l'amplitude moyenne de l'onde LPP.

Concernant le traitement relatif des stimuli émotionnels pour chaque âge, l'analyse statistique réalisée dans le contexte de haute activation révèle dans chaque groupe d'âge une amplitude de la LPP plus importante pour les stimuli négatifs (jeunes: $M=11.62$, $ES=1.7$; âgés: $M=7.48$, $ES=1.6$) que pour les stimuli positifs (jeunes: $M=5.93$, $ES=1.8$; âgés: $M=3.42$, $ES=1.5$) ($p < .001$ pour les deux comparaisons). L'amplitude de la LPP induite par les stimuli neutres (jeunes: $M=2.14$, $SE=1.6$; âgés: $M=1.09$, $SE=1.2$) est plus faible que celle induite par les stimuli positifs ($p < .001$) et négatifs ($p < .001$) chez les sujets jeunes, mais uniquement plus faible que celle induite par les stimuli négatifs chez les sujets âgés ($p < .001$).

Dans le contexte de basse activation, l'amplitude pour les stimuli négatifs ($M=7.57$, $ES=1.2$) est plus importante que pour les stimuli positifs ($M=4.37$, $ES=1.1$; $p<.013$) et neutres ($M=3.73$, $ES=1$; $p<.005$) chez les sujets jeunes. Chez les sujets âgés, l'amplitude des stimuli émotionnels (négatifs: $M=3.30$, $ES=1.77$; positifs: $M=3.33$, $ES=1.2$) est plus importante que pour les stimuli neutres ($M=1.09$, $ES=1.2$, $p<.001$ pour les deux comparaisons) ; aucune différence significative n'est observée entre les stimuli positifs et négatifs.

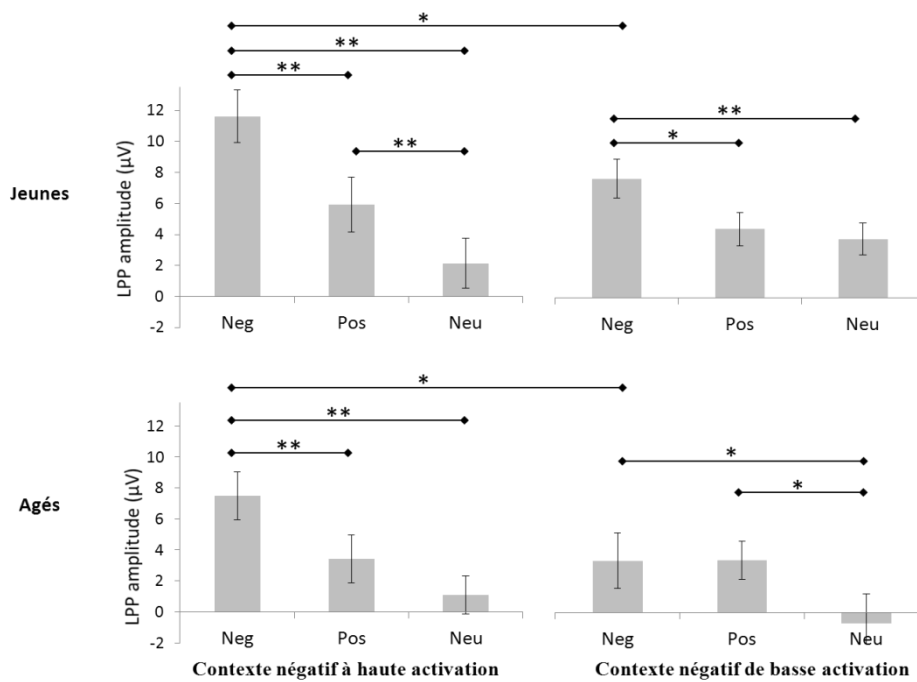


Figure 29: Amplitude moyenne de la LPP en fonction de l'âge, du contexte et de l'émotion (Neg = Négative; Pos = Positive; Neu = Neutre) et résultats des comparaisons post-hoc. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standards. * $p<0.05$; ** $p<0.01$.

4. Discussion

L'objectif principal de cette étude était 1) de déterminer dans quelle mesure les stimuli négatifs sont traités différemment avec l'âge selon leur niveau d'activation (haut et bas) et 2) d'évaluer si ces stimuli négatifs, selon leur niveau d'activation, peuvent influencer contextuellement le traitement cérébral de stimuli positifs (et neutres) et favoriser ainsi l'observation d'un effet de positivité.

Traitement du niveau d'activation des stimuli négatifs avec l'âge

En accord avec la littérature sur la composante LPP, laquelle est sensible au niveau d'engagement attentionnel et au niveau d'activation et de signification motivationnelle du stimulus (De Cesarei & Codispoti, 2011; Schupp et al., 2000; Ferrari, Codispoti, Cardinale, & Bradley, 2008), nous avons observé une diminution d'amplitude pour les scènes négatives de basse activation par rapport aux scènes négatives de haute activation (De Cesarei & Codispoti, 2011; Schupp et al., 2000). Toutefois, contrairement à nos hypothèses, cette réduction entre les deux niveaux d'activation était similaire entre les deux groupes d'âge, suggérant que le traitement relatif des niveaux d'activation des scènes négatives est réalisé sur un rapport d'échelle similaire entre les deux groupes d'âge. Néanmoins, l'amplitude de la LPP pour les scènes négatives de haute et basse activation était globalement réduite pour les participants âgés en comparaison avec les participants jeunes. Cet effet de l'âge a été reporté dans quelques études en EEG (Kisley et al., 2007; Langeslag & van Strien, 2009; Wood & Kisley, 2006) et dans plusieurs études en neuro-imagerie montrant spécifiquement une réduction de l'activité de l'amygdale (Leclerc & Kensinger, 2011; Nashiro et al., 2011; St Jacques et al., 2009). A la vue de ces résultats, nous ne pouvons conclure sur les raisons de ces modulations et de cette baisse d'engagement attentionnel pour les scènes négatives. Au regard du modèle du « contrôle cognitif » (Mather & Carstensen, 2005; Mather, 2012), présenté dans le Chapitre IV (2.2.), ces modulations peuvent être la conséquence de processus de régulation qui atténueraient la saillance des scènes négatives quel que soit leur niveau d'activation. Mais, nous ne pouvons pas non plus écarter l'hypothèse d'un déclin cognitif et d'une altération des fonctions de l'amygdale comme supposés par le « Aging Brain Model » (Cacioppo et al., 2011). Nos résultats semblent, en revanche, plutôt contradictoires avec les deux autres modèles, SAVI (Charles, 2010) et DIT (Labouvie-Vief, 2003) lesquelles présupposent une modulation uniquement pour les stimuli de faible activation.

Influence du contexte sur les biais attentionnels

Par ailleurs, nous supposions une influence contextuelle des scènes négatives sur le traitement des scènes positives et neutres. Contrairement à nos hypothèses, aucun effet de ce contexte affectif n'a été noté pour les scènes positives. En revanche, un effet a été observé pour les scènes neutres ; l'amplitude de la LPP diminuant avec l'âge dans le contexte négatif de basse activation seulement. Ces effets contextuels et les atténuations observées pour les scènes négatives avec l'âge semblent avoir contribué aux différences de biais attentionnels

que nous avons constatées entre les deux groupes d'âge selon le contexte affectif considéré (*i.e.*, selon le niveau d'activation des scènes négatives).

Dans le contexte de haute activation, étant donné les niveaux d'activation choisis pour les scènes négatives, positives et neutres, nous avons observé très logiquement pour les participants jeunes un biais de négativité (De Cesarei & Codispoti, 2011) avec une plus haute amplitude de la LPP pour les scènes négatives que pour les scènes positives et neutres. Ce résultat conforte l'idée que, d'un point de vue de l'évolution, les stimuli les plus menaçants pour la survie tels que nos scènes négatives de haute activation, possèdent une plus grande valeur adaptative et motivationnelle que n'importe quel autre type de stimuli (Baumeister et al., 2001; Ito & Cacioppo, 2005; Pourtois et al., 2013; Rozin & Royzman, 2001). Pour ces stimuli négatifs de haute pertinence biologique, le système motivationnel donnerait une priorité temporelle et engagerait le système attentionnel « exogène » (chapitre II, 4.) à mobiliser plus de ressources attentionnels sur ces stimuli de façon à augmenter leur traitement perceptuel (Briggs & Martin, 2008; LeDoux, 1995) comme en atteste les variations d'amplitude de la LPP (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ferrari et al., 2011). Dans une moindre mesure, une telle facilitation concernerait également les stimuli positifs (par rapport aux stimuli neutres), lesquelles ont induit une plus ample LPP et de meilleures performances que les stimuli neutres. Selon différentes études, cette facilitation impliquerait des processus plutôt automatiques (Kensinger, 2008 ; Dolan, 2002).

Dans ce contexte de haute activation, nous avons également observé un biais de négativité pour les participants âgés bien que l'amplitude de la LPP pour les scènes négatives ait été significativement réduite avec l'âge. Une plus grande amplitude de la LPP pour les scènes négatives de haute activation par rapport aux scènes positives et neutres a ainsi été maintenue chez les personnes âgées, suggérant que la prévalence attentionnelle des situations négatives de haute pertinence et les processus automatiques associés à leur traitement sont relativement bien préservés avec l'âge (Leclerc & Kensinger, 2008; Mather & Knight, 2006). Nous confirmons ainsi, à un niveau neurophysiologique, les résultats obtenus par ces études comportementales antérieures. En revanche, la prévalence des images positives sur les images neutres, observée chez les personnes jeunes, a disparu avec l'âge dans ce contexte affectif de haute activation bien qu'aucune différence statistique dans les traitements des positives et des neutres n'ait été notée entre les deux groupes d'âge dans ce contexte. Bien que nous ne pouvons conclure, compte tenu de la simple observation des données, cette absence de différence statistique entre les deux catégories de stimuli chez les personnes âgées pourrait

possiblement être liée à une diminution légèrement plus importante dans le traitement attentionnel des stimuli positifs par rapport aux stimuli neutres avec l'âge et par des variances inter-sujets plus ou moins importantes dans chacun de nos groupes de sujets.

Plus intéressant, dans le contexte négatif à faible activation, des patterns très différents entre les participants âgés et jeunes ont été observés. Chez les participants jeunes, le biais de négativité était préservé, l'amplitude de la LPP pour les stimuli négatifs de basse activation étant plus importante que celle pour les stimuli positifs et neutres. Ce biais de négativité était présent bien que les images positives étaient évaluées subjectivement comme étant plus activatrices que les images négatives de basse activation. De plus, contrairement au contexte affectif de haute activation, l'amplitude de la LPP pour les images positives était similaire à celle des images neutres dans le contexte de basse activation. Ces résultats semblent suggérer que les personnes jeunes privilégieraient un biais de négativité, y compris dans le cas où les stimuli négatifs ont un niveau d'activation relativement bas.

Dans le contexte affectif de basse activation, les participants âgés, contrairement aux participants jeunes, ont présenté un biais émotionnel plutôt qu'un biais de négativité. En effet, l'amplitude de la LPP pour les stimuli positifs n'était pas différente de celle des stimuli négatifs mais toutes deux étaient supérieures à l'amplitude des stimuli neutres. Une telle réduction du biais de négativité avec l'âge (*i.e.*, effet de positivité) a été précédemment observée dans des études en EEG sur la LPP qui ont utilisé des stimuli aux gammes d'activation proches des nôtres mais n'ont pas manipulé le niveau d'activation en tant que facteur (Kisley et al., 2007; Langeslag & van Strien, 2009; Wood & Kisley, 2006). D'autres études comportementales ont manipulé ce facteur et suggèrent que cette réduction du biais de négativité serait la résultante d'une dévaluation de l'impact des stimuli négatifs de basse activation (Gruhn & Scheibe, 2008; Kensinger, 2008; Streubel & Kunzmann, 2011). Au niveau physiologique, une réduction d'amplitude de la composante LPP a bien été observée avec l'âge pour les stimuli négatifs de basse activation. Mais, une même réduction a été également notée avec l'âge pour les stimuli négatifs de haute activation. C'est l'association de cet effet global lié à l'âge sur les négatifs avec l'absence de tout effet d'âge sur le traitement des stimuli positifs (quel que soit le contexte) qui pourrait justifier la disparition du biais de négativité avec l'âge dans le contexte négatif de basse activation. Au regard des niveaux d'activation des stimuli positifs et des stimuli négatifs de basse activation, il peut être supposé également que les sujets jeunes amplifieraient automatiquement et « par défaut » leur engagement attentionnel pour les stimuli négatifs (quel que soit leur niveau d'activation) et

que ce biais disparaîtrait avec l'âge, contribuant à l'observation d'un effet de positivité dans le contexte de basse activation.

Contrairement aux sujets jeunes, les adultes âgés, dans le contexte de basse activation, semblent favoriser un biais émotionnel (négatifs et positifs supérieurs aux neutres) en dévalorisant le traitement des situations neutres. Dans le contexte de basse activation uniquement, une plus faible amplitude de la LPP pour les neutres a ainsi été relevée pour les participants âgés comparés aux participants jeunes; suggérant une influence à la fois de l'âge et du contexte affectif sur le traitement des stimuli neutres. Ce résultat est important puisqu'il remet en cause l'utilisation des stimuli neutres comme ligne de base dans l'étude des effets de positivité sur l'attention. Or, un très grand nombre d'études ont utilisé les stimuli neutres comme tel (Allard & Isaacowitz, 2008; Isaacowitz, Allard, et al., 2009; Isaacowitz et al., 2006a, 2006b; Knight et al., 2007; Mather & Carstensen, 2003; Murphy & Isaacowitz, 2008). Afin de mieux comprendre les effets de positivité avec l'âge, ce point devrait donc être davantage considéré.

Données comportementales

Bien que des effets très nets de l'âge aient été observés au niveau du traitement cérébral, aucun effet de l'âge n'a été constaté au niveau comportemental aussi bien au niveau des performances de catégorisation émotionnelle, les taux de bonnes réponses étant comparables entre les deux groupes, qu'au niveau de l'évaluation subjective des niveaux d'activation des stimuli.

Cette dissociation entre données cérébrales et données comportementales a été reportée dans d'autres études de potentiels évoqués (Langeslag et al., 2009 ; Wieser et al., 2006) utilisant, comme nous, des scènes naturelles comme stimuli. Des effets de l'âge sur l'évaluation subjective de scènes naturelles émotionnelles sont rarement observés dans les études qui ne sont pas spécifiquement dédiées à l'étude de ces effets comme c'est le cas ici. Une des justifications de l'absence d'effets d'âge dans notre étude sur les données d'évaluation subjective repose sur le fait que cette évaluation s'est faite sur la base d'une seconde présentation des images ; des effets d'habituation peuvent alors avoir biaisé le ressenti des participants. Quant aux résultats de performances de catégorisation émotionnelle lors de l'expérience, il est à noter que, comme dans la plupart des études de neuroimagerie, les réponses des participants ont été demandées après et non pendant la présentation des scènes,

de sorte que les participants pouvaient évaluer la situation d'une manière plus consciente et rationnelle.

En raison de nos choix expérimentaux, notre étude présente quelques limites. Le nombre limité de participants a pu conduire à cette absence d'effets d'âge sur le traitement des stimuli négatifs selon leur niveau d'activation et sur le traitement des stimuli positifs selon le contexte. De plus, notre étude s'est particulièrement focalisée sur l'influence de l'âge sur le traitement des stimuli négatifs et sur leur influence dans le traitement des stimuli positifs (et neutres). Toutefois, il n'est pas exclu que l'âge puisse avoir aussi une influence sur le traitement des stimuli positifs lesquels seraient susceptibles aussi d'avoir une influence sur le traitement des stimuli négatifs (et neutres). Afin de répondre à cette question, il faudrait manipuler le niveau d'activation des stimuli positifs (ce qui n'a pas été fait dans cette étude) et voir dans quelle mesure l'effet de l'âge sur les stimuli positifs peut contribuer à l'observation de changements de biais attentionnels avec l'âge.

5. Conclusion

Notre étude a montré une réduction de l'impact des stimuli négatifs chez les personnes âgées et ce, quel que soit leur niveau d'activation. De plus, il apparaît que le traitement relatif des différents niveaux d'activation serait similaire entre les personnes jeunes et âgées. Il apparaît, par ailleurs, que le traitement des stimuli positifs ne serait pas modulé par l'âge quel que soit le contexte perceptif affectif. Nous confirmons ici d'autres résultats qui suggéraient une modulation liée à l'âge dans le traitement des stimuli négatifs principalement. Concernant les biais attentionnels, les sujets jeunes ont privilégié toujours l'information négative indépendamment de leur niveau d'activation comme si le biais de négativité était un « mode par défaut » chez les jeunes (Smith et al., 2006). Chez les sujets âgés, un biais de négativité a été préservé lorsque des stimuli négatifs de haute activation étaient en jeu (contexte de haute activation). En revanche, quand des stimuli négatifs de basse activation étaient présents, nous n'avons observé qu'un biais émotionnel et donc une réduction du biais de négativité (scènes négatives et positives privilégiées sans distinction). Cette étude confirme qu'il est important de considérer le contexte affectif ainsi que les propriétés intrinsèques des stimuli (*i.e.*, niveau d'activation) dans l'étude des effets de l'âge sur les biais attentionnels. Ces paramètres sont donc à prendre en compte pour notre hypothèse de vulnérabilité selon laquelle les processus liés aux effets de positivité dégraderaient les capacités de l'individu âgé à détecter et à répondre rapidement à des événements pouvant menacer son intégrité. .

Chapitre VIII - Détection d'états émotionnels et classification de signaux neuronaux

Etude 2 – Classification essai par essai de potentiels évoqués relatifs aux processus émotionnels

Cette étude a fait l'objet d'une communication écrite (article court - 4 pages) et une communication affichée. L'article relatif à ses travaux est présenté en annexe X.

Mathieu NG, Bonnet S, Harquel S, Gentaz E, Campagne A (2013). Single-trial ERP classification of emotional processing. 6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering NER-2013, Nov 5-8, San Diego, California, USA. pp. 101-104.

1. Objectifs et hypothèses

Cependant dans le cadre de cette thèse et pour proposer des pistes de solutions pour prévenir des conséquences d'une vulnérabilité due aux effets de positivité, nous nous sommes intéressés à la **reconnaissance et la détection des émotions à travers les signaux neuronaux**. L'idée sous-jacente était de proposer une chaîne de traitement capable d'évaluer l'état émotionnel d'un sujet induit par un stimulus qui pourrait permettre *in fine* d'élaborer une ICM capable de détecter quand l'état émotionnel de son utilisateur n'est pas congruent avec ce qui se passe dans son environnement, en particulier si un danger se présente.

Dans cette étude, nous proposons une nouvelle méthodologie pour permettre la classification d'états émotionnels sur la base de signaux neuronaux essais par essais et à l'échelle du sujet. Un des objectifs était de diminuer le temps nécessaire à la machine pour prendre une décision sur la classification d'états émotionnels tout en maximisant les performances en termes de bonne classification. Contrairement à la majorité des chaînes de traitement proposées jusqu'alors (voir Chapitre VI, 3.), nous avons décidé de travailler sur les potentiels évoqués par un stimulus sans passer dans le domaine fréquentiel des signaux. Nous avons fait ce choix dans le but de gagner en réactivité. Les temps de calcul sont réduits et la plage temporelle utilisée pour prendre une décision de classification peut être très courte. En effet le domaine fréquentiel nécessite des plages souvent longues pour que les caractéristiques extraites soient stables. La seule étude présentée dans le chapitre V permettant une décision en moins d'1 seconde, travaille dans le domaine temporel (Schuster et al., 2010) en obtenant un

taux de 72% pour discriminer 3 valences. Toutefois, la classification a été réalisée de manière « sujet-indépendant » incompatible avec notre objectif. A notre connaissance, nous n'avons pas trouvé d'études réalisant une détection émotionnelle sujet par sujet et essai par essai sur la base des potentiels évoqués.

Notre extraction des caractéristiques résulte d'une combinaison innovante entre un filtrage spatial et temporel. La classification proposée permet la distinction entre deux états émotionnels provoqués par des images. La distinction pouvait se faire selon la valence (positive, négative ou neutre), selon le niveau d'activation (très bas, moyen, élevé) ou selon les deux dimensions. En plus de proposer une nouvelle méthodologie, nous avons essayé d'évaluer le temps minimum nécessaire pour distinguer deux états émotionnels qui est conditionné par la plage temporelle d'extraction des caractéristiques. Pour tester et valider notre méthodologie, nous avons utilisé les données obtenues lors de la première expérimentation.

Pour réaliser notre chaîne de traitement et en particulier l'étape cruciale d'extraction des caractéristiques, nous nous sommes inspirés des méthodes proposées dans le cadre des « P300 spellers » (Farwell & Donchin, 1988) qui cherchent aussi des gains en réactivité et travaillent sur les potentiels évoqués. Un « P300 speller » est une ICM qui permet d'écrire par la pensée. Des lettres disposées sur une grille sont flashées aléatoirement sur un écran d'ordinateur et lorsque la lettre qui est flashée correspond à celle attendue par l'utilisateur, cela engage des processus cérébraux particuliers. Ces processus d'ordre attentionnel sont visibles dans les signaux neuronaux dont l'onde P300 en est le reflet. En effet, cette onde est bien plus ample pour les lettres attendues comparativement aux lettres non-attendues, (principe identique aux paradigmes de type « oddball »). La chaîne de traitement de cette ICM est optimisée pour la détection de cette onde P300 essai par essai et l'écriture d'une lettre se fait lorsque la chaîne de traitement étiquette les signaux d'un essai comme « lettre attendue ».

Le second objectif de cette étude est d'évaluer la faisabilité des ICMs à destination des personnes âgées et de comparer les performances obtenues avec des personnes plus jeunes. Aucune des études présentées dans le Chapitre VI n'a inclus de volontaires ayant plus de 40ans. Or, des travaux en EEG ainsi qu'en IRMf (Cabeza & Kingstone, 2001; Grady, Springer, Hongwanishkul, McIntosh, & Winocur, 2006; Salthouse, 2009) montrent une activité cérébrale plus réduite chez les personnes âgées, avec un bruit de communication entre les neurones plus important dues à des difficultés de synchronisation et d'inhibition de

l'activité de certaines aires cérébrales et processus associés. Par ailleurs, il est possible que les modifications dans les traitements liés à l'âge conduisant aux effets de positivité puisse impacter les performances en classification et remettre en cause l'élaboration d'une ICM à destination des personnes plus âgées. Dans notre étude nous avons donc évalué dans quelle mesure l'âge impacte les performances de classification d'états émotionnels.

2. Méthodologie

2.1. Protocole expérimental

Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé les données expérimentales de l'expérience 1. Pour rappel les images étaient de 4 catégories. 60 images positives, 60 images neutres, 30 images négatives à haut niveau d'activation et 30 images à bas niveau d'activation ont été présentées à 14 participants âgés de 20 à 35ans et 14 participants âgés de 60 à 75ans qui avaient pour consigne de catégoriser les images en fonction de leur valence. Toutefois, dans cette étude, 2 sujets du groupe de personnes jeunes n'ont pu être inclus pour des raisons techniques et de format de données.

2.2. Enregistrement des données

L'activité électroencéphalographique a été enregistrée de façon continue pour chacun des blocs à l'aide d'un casque Acticap® (Brain Products, Inc.) équipé de 78 électrodes¹⁰ Ag-AgCl positionnées selon le système 10-20 étendu (Jasper, 1958; Oostenveld & Praamstra, 2001). La référence utilisée lors de l'enregistrement des signaux étaient celles proposées par Acticap® à proximité du vertex (FCz), la masse était sur l'avant de la tête (AFz). Puis un re-référencement suivant un signal moyen des deux mastoïdes a été effectué. Les participants avaient pour instruction de limiter leurs mouvements oculaires durant toute la durée de la croix de fixation et de présentation des images. Les signaux étaient amplifiés en utilisant un système BrainAmp™ (Brain Products, Inc.), échantillonnés à une fréquence de 1000Hz, à une résolution de 0.1 μ V et filtrés suivant un filtre analogique passe-bas avec une constante de

¹⁰ Midline: Fpz, Fz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz, Iz ; Right hemisphere: Fp2, AF4, AF8, F2, F4, F6, F8, F10, FC2, FC4, FC6, FT8, FT10, C2, C4, C6, T8, CP2, CP4, CP6, TP8, TP10, P2, P4, P6, P8, P10, PPO2h, PPO10h, PO4, PO8, PO10, PPO10h, O2, OI2h; Left hemisphere: Fp1, AF3, AF7, F1, F3, F5, F7, F9, FC1, FC3, FC5, FT7, FT9, C1, C3, C5, T7, CP1, CP3, CP5, TP7, TP9, P1, P3, P5, P7, P9, PPO1h, PPO9h, PO3, PO7, PO9, PPO9h, O1, OI1h.

temps de 10s ce qui correspond à une fréquence de coupure de 0.016Hz pour un filtre de premier ordre.

2.3 Chaîne de traitement

L'ensemble de la chaîne de traitement a été programmée sous Matlab®. La première étape du traitement consistait à prétraiter les signaux, étape durant laquelle les signaux étaient filtrés et partitionnés autour des instants d'apparition des 180 images. Aucun rejet d'artefact n'a été appliqué dans le but d'être dans des conditions d'un scénario réaliste d'application en temps réel. Pour chaque essai, il s'agissait d'extraire les caractéristiques les plus pertinentes et discriminantes entre les classes. Premièrement, un filtre spatial a été défini pour chaque sujet et consistait à créer des électrodes virtuelles par combinaison linéaire des électrodes réelles et ne conserver que les électrodes virtuelles avec le plus de pouvoir discriminant. Deuxièmement, un filtre temporel a été appliqué sur les signaux des électrodes virtuelles pour réduire temporellement le nombre de caractéristiques. Ce filtre temporel consistait à moyenner la valeur du signal virtuel de plages temporelles spécifiques déterminées sur l'ensemble des sujets. Enfin, une classification essai par essai a été réalisée en utilisant une amélioration de type « shrinkage » de la méthode d'analyse linéaire discriminante (shLDA) (Blankertz et al., 2010).

Différentes configurations de classifieurs binaires (2 classes à discriminer) ont été testées, listées dans la tableau 8, pour classer les stimuli opposés par la valence et le niveau d'activation (C1 et C2), opposés par le niveau d'activation uniquement (C3) et opposés par la valence pour des niveaux d'activations proches (C4 et C5). L'affectation des stimuli à chaque classe a été effectuée sur la base des catégories définies par le pré-test.

Tableau 8 : Classes à discriminer selon les configurations de classifieur binaire.

C1	Negative HA	Neutral
C2	Positive + Negative HA + LA	Neutral
C3	Negative HA	Negative LA
C4	Negative LA	Positive
C5	Negative HA + LA	Positive

HA: Haute activation; BA: Basse activation.

2.3.1. Prétraitement

Les signaux EEG ont tout d'abord été sous-échantillonnés à 200Hz, puis filtrés selon un filtre passe-bande de type « Butterworth » d'ordre 5 entre 1 et 30Hz. Les données ont ensuite été découpées en segment d'1 seconde à partir de l'apparition de chaque stimulus et une correction de la ligne de base suivant les 200ms précédant l'apparition du stimulus a été appliquée. Ainsi, 180 essais étiquetés en fonction de la catégorie du stimulus étaient disponibles par participant.

2.3.2. Extraction des caractéristiques

Filtre spatial

Suivant la même méthodologie que celle utilisée dans certains « P300 spellers » (Cecotti & Rivet, 2011; B Rivet, Cecotti, Maby, & Mattout, 2012; B Rivet, Souloumiac, & Gibert, 2009; Rivet, Cecotti, & Souloumiac, 2011; Rivet, Souloumiac, Attina, & Gibert, 2009), un filtre spatial a été implémenté pour diminuer le nombre d'électrodes tout en maximisant les différences entre les potentiels évoqués des différentes configurations testées. Tous signaux EEG dans peut s'écrire selon ce modèle :

$$\mathbf{X} = \mathbf{P}_1 \mathbf{D}_1 + \mathbf{P}_2 \mathbf{D}_2 + \mathbf{N}$$

Avec \mathbf{X} est la matrice du *nombre d'électrodes x nombre d'instant total*, \mathbf{D}_1 et \mathbf{D}_2 sont les matrices Toeplitz binaires *nombre d'instant dans un segment x nombre d'instant total*, \mathbf{P}_1 et \mathbf{P}_2 sont les prototypes de réponses évoquées de dimensions *nombre d'électrodes x nombre d'instant dans un segment x* et \mathbf{N} un terme de bruit (terme d'erreur). La quantité $\mathbf{P}_1 \mathbf{D}_1$ correspond aux réponses spécifiques pour une classe de stimuli (condition 1, e.g., Négative de Haute Activation) alors que $\mathbf{P}_2 \mathbf{D}_2$ correspond à toute les réponses communes à tous les essais quel que soit le stimulus. La décomposition du signal peut se généraliser pour n'importe quel protocole avec des signaux synchronisés sur les stimuli (Bertrand Rivet et al., 2011). Cela peut aussi s'écrire:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 & \mathbf{P}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{D}_1 \\ \mathbf{D}_2 \end{bmatrix} + \mathbf{N} = \mathbf{PD} + \mathbf{N}$$

La réponse prototypique contenue dans \mathbf{P} peut être estimée en utilisant la méthode des moindres carrés suivante :

$$\mathbf{P} = \min_{\mathbf{P}} \|\mathbf{X} - \mathbf{PD}\|_F^2$$

Les filtres spatiaux sont déduits en maximisant le quotient de Rayleigh, qui est un ratio de deux variances :

$$\rho(\mathbf{w}, \mathbf{X}) = \frac{\mathbf{w}^T \mathbf{P}_1 \mathbf{D}_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{D}_1^T \mathbf{w}}{\mathbf{w}^T \mathbf{X} \mathbf{X}^T \mathbf{w}}$$

La maximisation de ce critère revient à résoudre un problème de valeur propre (Golub & Kahan, 1965). En d'autres termes, les filtres sont dimensionnés de manière à augmenter le rapport signal (de la condition 1) sur signal plus bruit (SSNR) $\rho(\mathbf{w}, \mathbf{X})$. Les nouvelles électrodes virtuelles \mathbf{z} sont créées par application du filtre spatial \mathbf{w} sur les électrodes réelles \mathbf{X} .

$$\mathbf{z}_k^T = \mathbf{w}_k^T \mathbf{X}$$

L'étape suivante consiste à choisir le nombre d'électrodes virtuelles. Ici, nous avons conservé de 1 à 5 électrodes virtuelles en fonction de leurs valeurs propres proportionnelles au SSNR. Cette méthodologie permet de débruiter les électrodes virtuelles et de retirer, du signal, l'activité spontanée commune à toutes les conditions.

Filtre temporel

La procédure suivante nous a permis de déterminer les plages temporelles. Pour chaque bin de signal dans l'espace (électrodes) et dans le temps (segment 1 seconde), le coefficient de détermination (r^2) des classes à séparer (*e.g.*, Négative de Haute activation contre Neutre) a été calculé pour chaque sujet et pour chacune des configurations de classification. Ainsi, nous avons obtenu des cartes de corrélations pour chaque participant et chaque configuration. La *p-value* correspondante de chaque bin associée à chaque valeur de r^2 a été calculée. Ensuite, les cartes corrélations ont été transformées en cartes binaires suivant le critère:

$$b_{e,t} = 1 \text{ si } p_{e,t} < 0.05$$

où e est le numéro de l'électrode, t est l'instant temporel et 1 . , la fonction de transformation binaire. Nous avons ensuite obtenu des courbes de *p-value* pour chaque groupe d'âge en sommant toutes les cartes de *p-value* de chaque participant et chaque configuration sur les électrodes. Ainsi, nous avons pu mettre en évidence les périodes discriminantes présentes dans les signaux et un seuillage nous a permis d'extraire 4 plages temporelles.

2.3.3. Classification

Pour chaque essai i , les caractéristiques des différentes électrodes virtuelles étaient concaténées dans un vecteur de caractéristique $\mathbf{v}^i = \mathbf{z}_{1,I_1}^i, \dots, \mathbf{z}_{1,I_M}^i, \mathbf{z}_{2,I_1}^i, \dots, \mathbf{z}_{N,I_M}^i$ associé au label de la catégorie du stimulus correspondant. Notre vecteur de caractéristiques contenait au maximum 20 valeurs (5 composantes x 4 plages temporelles). Cette dimension est à l'échelle du nombre d'essais disponibles pour l'apprentissage (un minimum de 60 essais dans la condition C3 et un maximum de 180 dans la condition C2).

Une LDA "shrinkage" a donc été employé pour la classification selon les recommandations de Blankertz et al., (2011). Le « shrinkage » consiste à régulariser la matrice de covariance des essais \mathbf{S}_w , utilisée par la LDA, en chargeant sa diagonale: $\mathbf{S}_w + \lambda \mathbf{I}$, avec λ un paramètre qui permet de réduire l'erreur entre la matrice de covariance estimée \mathbf{S}_w et la matrice de covariance réelle (inestimable lorsque le nombre d'essais est réduit et la dimension des données trop importante). voir Ledoit & Wolf, 2004 ou encore Blankertz et al., (2010).

Les performances du classifieur ont été évaluées par validation croisée en laissant 1 essai de côté. Il est important de noter que l'essai utilisé pour le test en classification n'est pas utilisé pour le calcul du filtre spatial, ne créant pas de biais. Toutefois, il est utilisé dans l'élaboration du filtre temporel constituant un biais théoriquement. Par ailleurs, en pratique nous estimons qu'un essai parmi « 12 participants x 540 essais environ » n'est pas d'une grande influence.

3. Résultats

3.1. Extraction des caractéristiques

Filtres spatiaux

Dans le but de visualiser les électrodes principalement considérées dans la création des électrodes virtuelles, nous avons regroupé l'ensemble des signaux normalisés selon un z-score de tous les participants en fonction de leur groupe et appliqué la méthodologie de création des filtres spatiaux pour obtenir des filtres sujets-indépendants. La figure 30 montre l'évolution de la valeur propre de chacune des électrodes virtuelles. Nous constatons qu'au delà de la 5^{ème}

électrode la valeur propre n'est plus très élevée. Ainsi 5 électrodes virtuelles maximum ont été utilisées pour la classification.

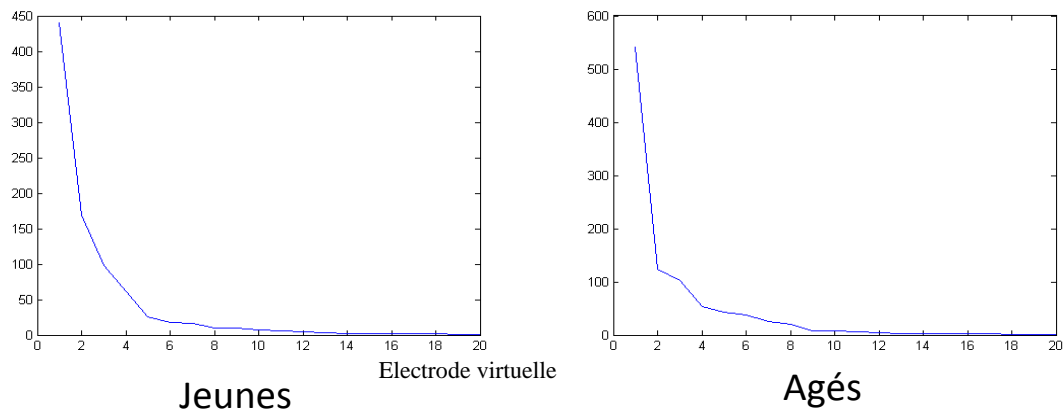


Figure 30: Valeur propres de chacune des 20 premières électrodes virtuelles en fonction du groupe d'âge pour des filtres spatiaux optimisés pour la configuration C1 (Négative de Haute activation contre Neutre).

Les potentiels évoqués moyens des 5 premières électrodes virtuelles ayant les plus grandes valeurs propres ont été extraits (figure 31). La visualisation topographique des patterns spatiaux des filtres (colonne de \mathbf{w}^{-T}) a permis d'obtenir une estimation des sources (à l'échelle du scalp) contribuant le plus à chacune des électrodes virtuelles. Globalement, les cartes montrent que ce sont principalement les zones occipitales, pariétales, centro-pariétales et centrales qui sont en jeu (figure 31). Ces résultats ne sont pas surprenants puisque c'est sur ces sites que les études en neuro-imagerie observent les plus fortes amplitudes des composantes évoquées telles que P1, N1, P2, N2, P300 et LPP et les différences significatives entre les conditions émotionnels au niveau des potentiels évoqués visuels (Olofsson et al., 2008). Par ailleurs, ces composantes sont présentes visuellement dans les signaux des 5 électrodes virtuelles comme en atteste la figure 31. Par exemple, le signal virtuel de l'électrode virtuelle 4 pour les sujets jeunes révèle une onde très ample et assez lente, entre 400 et 700 ms, qui correspond probablement à la LPP identifiée dans l'étude 1. La visualisation des patterns spatiaux révèle que les zones pariétales en seraient l'origine telle que le suggère la littérature (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ito et al., 1998; Linden, 2005). Si nous prenons maintenant comme exemple l'électrode 3 chez les sujets âgés nous notons la présence de composantes précoces aux alentours de 120ms et 180ms correspondant probablement aux composantes P1 et N1. L'observation des patterns spatiaux supporte cette hypothèse puisque principalement des zones occipitales en sont les origines conformément à la littérature sur ces composantes précoces (Di Russo et al., 2003; Olofsson et al., 2008).

Filtres temporels

Les cartes de corrélations, présentées dans la figure 32, révèlent les points spatio-temporels les plus discriminants. En faisant la somme des points significativement prédictifs, nous avons observé 4 plages temporelles sur lesquelles les signaux des électrodes virtuelles ont été moyennés. Pour les sujets jeunes, les intervalles 70-135ms, 235-270ms, 375-445ms et 510-895ms ont été utilisés. Des intervalles assez similaires ont été identifiés et utilisés pour les sujets âgés à savoir 80-165ms, 260-335ms, 395-420ms et 530-815ms. Au regard de la littérature concernant l'étude des émotions en EEG, nous pouvons supposer que nos 4 plages contiennent les composantes visuelles les plus couramment observées (Olofsson et al., 2008). La première plage révélerait la composante P1 observée habituellement aux alentours de 110ms, la seconde plage pour le complexe P2-N2 observé entre 200 et 300ms, puis les deux dernières plages pour les composantes plus tardives et plus amples P300 et LPP.

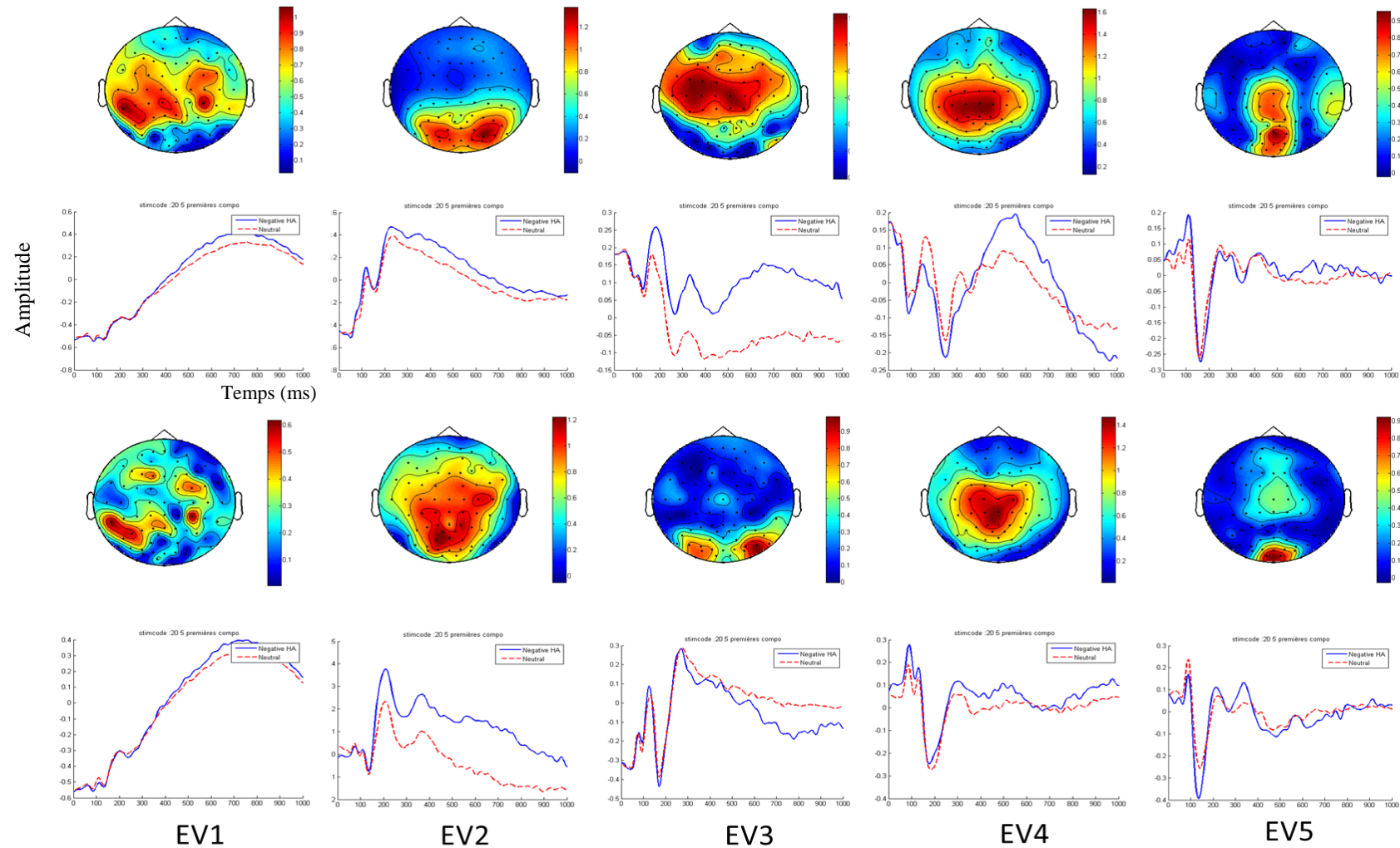


Figure 31: Topographies des patterns spatiaux attribués aux électrodes réelles dans la construction des 5 premières électrodes virtuelles et visualisation des signaux virtuels correspondant à chacune des électrodes. Nous pouvons observer que l'électrode virtuelle 1 (EV1) présente une composante de type LPP, les 4 autres électrodes virtuelles présentent des composantes de type P1 P2 N1 et N2.

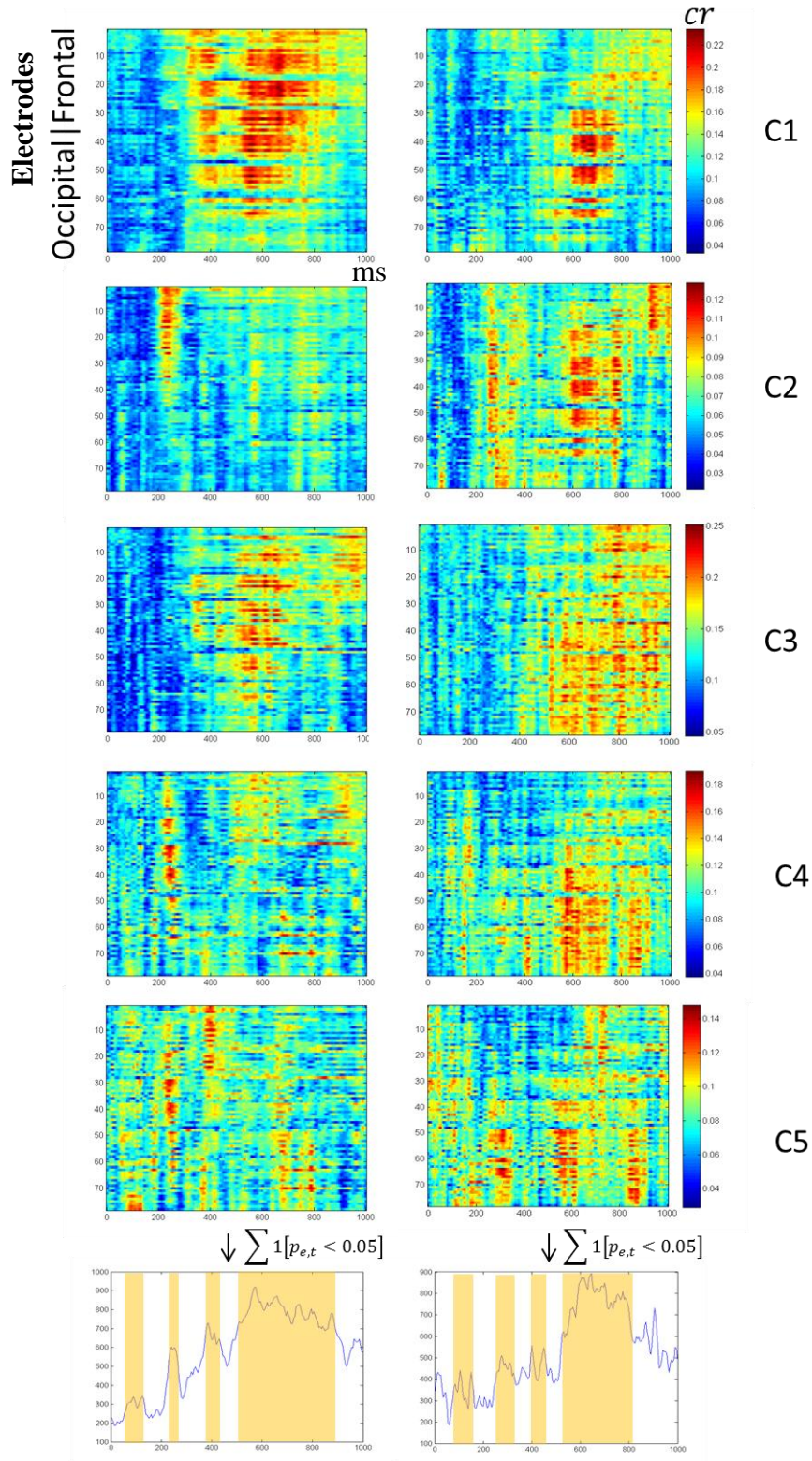


Figure 32: Carte de corrélation pour les sujets jeunes (gauche) et âgés (droite) pour chacune des configurations de classification. Les courbes du bas représentent la somme sur les électrodes des p-value significatives pour les 5 configurations. Sur ces courbes, en orange les 4 plages temporelles utilisées pour le filtre temporel.

3.2 Résultats de classification

En utilisant 5 électrodes virtuelles et 4 plages temporelles soit 20 caractéristiques par essai, les meilleurs taux de classification sont obtenus pour la configuration C3 soit en opposant les essais des images négatives de haute activation contre ceux des images de basse activation (tableau 9). En effet, le taux moyen est de 82.2% pour les sujets jeunes avec un maximum à 100% (tableau 10) et 78.3% pour les sujets âgés avec un maximum à 92%. En seconde position, vient la configuration C1(Négative de haute activation contre Neutre), avec un taux moyen de 69.5% pour les sujets jeunes dont un maximum à 81% et 67.3% pour les sujets âgés avec un maximum à 86%. Sont significativement aussi au-dessus de la chance les configurations C2 (Emotionnel contre neutre) et C4 (Négative de basse activation contre positive). Les taux de classification Négative contre positive (C5) sont, quant à eux, au niveau de la chance. Les taux de classification pour cette configuration n'étant pas au-dessus de la chance, nous avons retiré cette configuration pour la suite de la présentation des résultats. Globalement, les taux moyens de classification obtenus pour les sujets âgés (63%) étaient légèrement et tendanciellement inférieurs à ceux obtenus pour les sujets jeunes (65%) ($F(1,24) = 3.75, p=.065$).

Tableau 9 : Taux moyen de classification pour les deux groupes d'âge en fonction de la configuration du classifieur binaire en utilisant 5 électrodes virtuelles et 4 plages temporelles

Moyenne (ES)	C1	C2	C3	C4	C5
Jeunes	70.4%(2.3)*	58,5%(1.6)*	82,2%(3.1)*	62,3%(1.6)*	53,0%(1.6)
Agés	67,3%(2.1)*	56,1%(1.6)*	78,3%(2.9)*	61,1%(1.3)*	51,5%(1.4)

*taux de classification significativement au-dessus de la chance (50%)

Tableau 10: Taux de classification pour chacun des sujets en fonction de la configuration du classifieur binaire en utilisant 5 électrodes virtuelles et 4 plages temporelles

Sujets	C1	C2	C3	C4	C5
J1	<u>81%</u>	64%	92%	59%	53%
J2	59%	55%	73%	60%	51%
J3	67%	52%	75%	<u>70%</u>	48%
J4	63%	57%	87%	60%	55%
J5	72%	50%	<u>100%</u>	61%	47%
J6	61%	61%	88%	54%	45%
J7	79%	65%	62%	68%	<u>60%</u>
J8	81%	63%	87%	64%	56%
J9	68%	53%	87%	62%	59%
J10	71%	58%	85%	66%	48%
J11	69%	<u>67%</u>	80%	69%	<u>60%</u>
J12	63%	58%	72%	54%	55%
A21	68%	53%	85%	62%	51%
A22	<u>86%</u>	58%	83%	61%	57%
A23	64%	52%	60%	54%	46%
A24	59%	48%	58%	67%	53%
A25	68%	48%	83%	60%	48%
A26	69%	57%	78%	60%	46%
A27	74%	61%	83%	59%	51%
A28	67%	53%	75%	60%	45%
A29	71%	58%	77%	54%	53%
A30	59%	<u>67%</u>	82%	64%	58%
A31	71%	61%	65%	56%	43%
A32	54%	51%	<u>92%</u>	66%	55%
A33	67%	65%	<u>92%</u>	<u>71%</u>	56%
A34	66%	55%	83%	61%	<u>59%</u>

Par ailleurs, nous nous sommes intéressés aussi à l'évolution des taux de classification en fonction du nombre d'électrodes virtuelles conservées (figure 33 et Annexe G).

L'ajout d'une électrode virtuelle améliore les performances mais pas nécessairement de manière significative. Chez les sujets jeunes, il faut l'ajout de 3 électrodes pour observer un gain significatif. Tandis que chez les sujets âgés, l'ajout d'une électrode virtuelle suffit à un gain significatif.

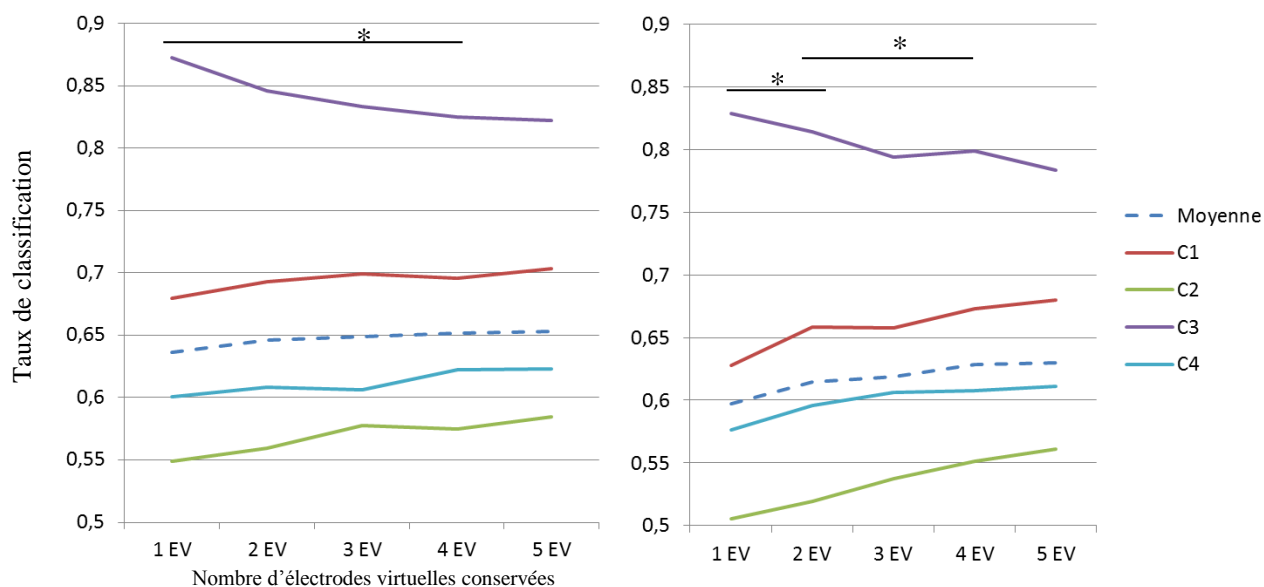


Figure 33 : Evolution des taux de classification en fonction du nombre d'électrodes virtuelles extraites et en fonction des configurations. Les tests statistiques ont été effectués sur la moyenne uniquement $*p < .05$, non corrigés. A gauche les sujets jeunes, à droite les sujets âgés.

Dans notre méthodologie, le nombre de plages temporelles utilisées pour extraire les caractéristiques conditionne le temps de réaction minimum nécessaire pour prendre une décision dans le cas de son utilisation pour une ICM. Nous avons aussi investigué les performances en fonction des plages temporelles utilisées (figure 34 et annexe H).

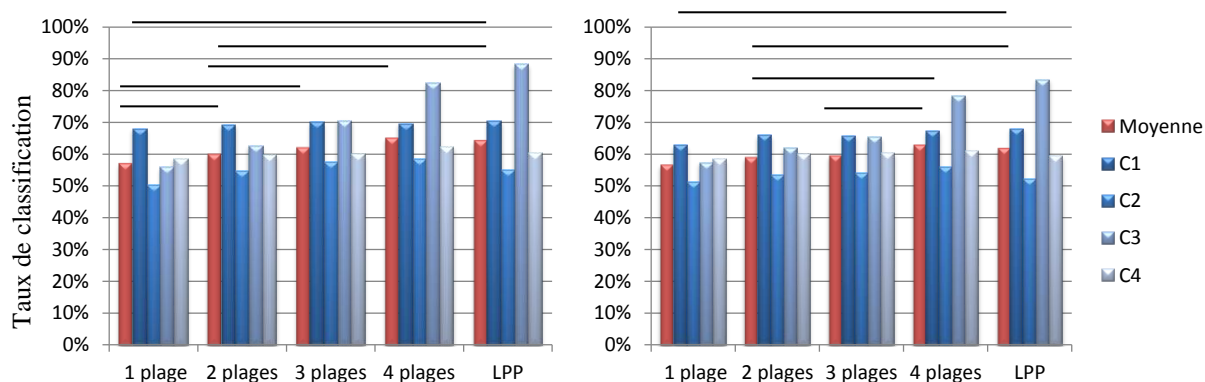


Figure 34: Taux de classification en fonction des plages utilisées et de l'âge (à gauche, les sujets jeunes et à droite, les sujets âgés). 3 plages signifie que nous avons utilisé les trois premières plages temporelles de la plus précoce à la plus tardive. LPP signifie que nous n'avons utilisé que la dernière plage temporelle identifiée. Les tests statistiques n'ont été effectués que sur la moyenne. $* = p < .05$.

Dans la globalité, que ce soit pour les sujets jeunes ou âgés, chaque plage supplémentaire ajoute un gain significatif aux performances. Nous avons noté deux patrons d'évolution différents selon les configurations de classifieur. Nous citerons notamment la configuration C1 qui, chez les sujets jeunes, présente des performances maximales dès la première plage temporelle (environ 68%) à contrario de la configuration C3 où l'ajout d'une plage accroît grandement les performances entre 8 et 12% à chaque ajout.

4. Discussion

Le but de cette étude était de proposer une nouvelle méthode de classification d'états émotionnels induits par des images de scènes naturelles sur la base des potentiels évoqués visuels. Ce choix était motivé par une implémentation en ICM et par le fait que travailler dans le domaine temporel permettrait une classification plus rapide et des temps de calcul plus courts qu'une classification sur des caractéristiques extraites dans le domaine fréquentiel. Les méthodes d'extraction des caractéristiques proposées s'avèrent correctes pour conserver l'information la plus discriminante. En effet, les filtres spatiaux et temporels découlant des méthodes proposées dans l'étude montrent une grande cohérence avec les résultats observés dans la littérature sur l'étude des émotions en EEG (Olofsson et al., 2008). En effet, les électrodes ayant le plus de poids dans les filtres spatiaux sont celles pour lesquelles les différences entre les conditions émotionnelles sont maximales, à savoir les électrodes occipitales, centrales et pariétales principalement. Pour aller plus loin, nous pourrions proposer d'utiliser la technique de filtrage spatial qui peut être vue comme une démarche de type Analyse en Composante Principale souvent utilisée en EEG pour déterminer les électrodes d'intérêt (Spencer, Dien, & Donchin, 2001). En effet, les poids du filtre sont optimisés pour augmenter la variance d'une classe par rapport à l'ensemble des conditions. Par conséquent, les électrodes dont le poids est le plus important seront les électrodes où les différences entre classes seront maximales. Les plages temporelles, quant-à-elles, attestent aussi de la validité de notre méthodologie d'extraction des caractéristiques.

Le principal avantage de notre filtre spatial réside dans le fait qu'il permet de diminuer grandement le nombre de signaux tout en conservant l'information discriminante puisque les électrodes virtuelles sont des combinaisons linéaires d'électrodes. Néanmoins, dans un scénario réaliste d'une utilisation ICM, la pose d'un casque EEG à haute densité n'est pas envisageable. D'autres travaux sont nécessaires pour évaluer la robustesse de notre méthodologie à la diminution du nombre d'électrodes dès l'acquisition.

Les résultats montrent que notre méthode est particulièrement efficace pour distinguer des états provoqués par des images négatives de basse activation en comparaison à des images de haute activation. Le taux de performance moyen de 82.2% pour les sujets jeunes et de 78.2% pour les sujets âgés est particulièrement haut avec des scores parfaits de 100% ou très proche de 100% pour certains sujets. Des performances correctes sont obtenues pour faire la distinction entre scènes négatives de haute activation et scènes neutres (jeunes : 70.5% ; âgés :

67.3%). Pour les configurations opposant scènes négatives de basse activation aux scènes positives (jeunes : 62.3% ; âgés : 61.1%) et scènes émotionnelles à scènes neutres (jeunes : 58.5% ; âgés : 56.1%), les performances sont significativement au-dessus de la chance mais insuffisantes pour une application ICM. La configuration opposant scènes négatives à scènes positives a l'air d'être la plus défavorable à notre méthodologie puisque les performances sont au niveau de la chance. A l'exception de cette dernière configuration, nos résultats sont soit meilleurs, soit comparables à ceux de la littérature sur la détection sujet-dépendant d'états émotionnels (Chanel et al., 2005; Koelstra et al., 2010), et approchent certains résultats obtenus avec une classification sujet-indépendant (Schuster et al., 2010) (voir Chapitre VI). Nos performances sont aussi comparables à ceux obtenus en « P300 speller » après une itération (Bertrand Rivet et al., 2011). Ces résultats tendent à montrer que des images très activatrices favorisent de bonnes performances telles que nos images négatives de haute activation. Pour aller plus loin, la méthodologie proposée apparaît meilleure pour séparer des catégories d'images selon les niveaux d'activation plutôt que selon la valence. A la vue des résultats présentés dans le Chapitre II, dans les études en neuro-imagerie, cette constatation n'est pas très surprenante. De nombreuses études en EEG suggèrent que les composantes sont plus facilement modulées par les niveaux d'activation plutôt que par la valence des stimuli.

Un autre objectif était d'estimer la durée minimale nécessaire pour obtenir des taux de classification acceptable. Avec notre méthodologie, il apparaît compliqué de proposer une classification en moins de 450ms, l'ajout de la troisième plage par rapport aux deux premières plages améliorant significativement les performances. Toutefois, cette observation dépend vraiment des configurations. Malgré cela, notre méthodologie est tout à fait valable puisque très peu d'études (voir Chapitre VI) proposent des algorithmes de classification essai par essai avec des tailles de segments inférieures à la seconde.

Notre méthodologie pourrait être améliorée. Il faut rappeler que, parfois, la présentation d'images émotionnelles ne provoque pas nécessairement l'émotion escomptée et cela provoque un bruit d'étiquetage de nos stimuli. Les réponses des participants dans la tâche de catégorisation (**étude 1**) montrent que de 5 à 20% des images ne sont pas attribués à la bonne catégorie et donc ne provoquent pas nécessairement l'émotion attendue. Nos résultats pourraient probablement être meilleurs si nous avions pris en compte les vraies réponses des participants pour chaque essai et non la catégorie des images définie par le pré-test.

Concernant l'étape d'extraction « temporelle » des caractéristiques, nous avons choisi une méthode très globale qui peut être plus précise. Les latences des composantes variant d'un

individu à l'autre, un algorithme de définition automatique des plages temporelles sujet-dépendant peut être mis en place aisément tel que le propose Fazli et collaborateurs (2012) qui travaillent aussi avec les coefficients de corrélation. L'ajout d'autres signaux en compléments des signaux EEG peut aussi améliorer les performances, tels que rythme cardiaque, l'activité électrodermale, les mouvements oculaires et les clignements. Soleymani (2012) montre une progression d'environ 15% pour une classification du niveau de valence et 19% pour le niveau d'activation par l'ajout de données sur les mouvements oculaires.

Pour conclure, le dernier objectif de cette étude était d'évaluer dans quelle mesure les performances d'un système de classification pouvait chuter entre une population jeune et âgée. Dans le cadre de notre méthodologie la diminution est comprise entre 1 et 4 % ce qui est tout à fait raisonnable pour envisager des ICM à destination des personnes âgées.

5. Conclusion

Dans le but de réaliser une classification essai par essai d'états émotionnels induits par des stimuli émotionnels, nous avons proposé une méthodologie innovante permettant une classification en moins d'1 seconde, *i.e.*, plus rapide que la plupart des méthodologies présentées actuellement. Nous obtenons des résultats significatifs plutôt bons quand il s'agit d'étiqueter les signaux selon le niveau d'activation des stimuli: Pour des sujets jeunes, le taux de performance moyen est de 82.2% lorsqu'il s'agit de distinguer des potentiels évoqués provoqués par des scènes naturelles négatives de basse activation en comparaison à des scènes de haute activation. Des performances correctes (70.5%) sont obtenues aussi pour faire la distinction entre scènes négatives de haute activation et scènes neutres. De plus, nous montrons que les taux de classification de signaux neuronaux d'individus âgés ne sont pas inférieurs de plus de 4% à ceux des sujets jeunes pour toutes les configurations binaires de classification. Ainsi, des ICMs à destination des personnes âgées seraient envisageables dans un futur proche.

Chapitre IX - Effets de positivité et contexte motivationnel

Etude 3 - Effets de positivité au cours du vieillissement « sain » dans une tâche de tendance à l'action.

1. Objectifs et hypothèses

Plusieurs études ont mis en évidence un effet des consignes de tâche dans l'observation des effets de positivité (Lang & Carstensen, 2002; Löckenhoff & Carstensen, 2007) (Chapitre V). Il est à noter que toutes ces études ont toujours proposé soit des tâches affectives mettant l'accent sur la valeur émotionnelle des stimuli (*e.g.*, choix associé à une valeur émotionnelle dans des tâches de prise de décision) ou permettant aux participants de se focaliser sur cette dimension (*e.g.*, tâche de catégorisation basée sur le ressenti émotionnel des situations), soit des tâches non affectives sans lien avec la dimension émotionnelle (*e.g.*, tâches focalisées sur la précision du récit ; voir introduction partie 2.2). Toutefois, le traitement des stimuli émotionnels dépendrait également fortement de systèmes motivationnels liés à l'action.

Par définition, une émotion a un rôle clé dans la survie de l'individu puisqu'elle est un indicateur pour agir et prépare l'individu à s'adapter efficacement à son environnement. L'étude des liens entre des stimuli émotionnels et les réponses comportementales correspondantes repose notamment sur le rôle fondamental adaptatif des motivations d'approche ou d'évitement appelées tendance à l'action (Elliot, 2008). Certaines expériences ont ainsi montré un rôle facilitateur de l'émotion pour des actions aux motivations d'approche ou d'évitement des situations (Chen & Bargh, 1999; Seibt et al., 2008).

Dans la théorie des « processus-composantes » (Sander & Scherer, 2009), ces « tendances à l'action » constituent une des composantes de l'émotion qui influence et qui est influencée en retour par la composante d'évaluation cognitive (chapitre II,2.1). Les théories motivationnelles définissent même l'émotion comme étant ces tendances à l'action ou « états motivés » (Frijda, 1986).

Différents arguments laissent supposer que les effets de positivité seraient renforcés lorsque la dimension motivationnelle (*i.e.*, « la tendance à l'action ») des stimuli est pertinente

pour la tâche. Selon certaines des théories actuelles, l'évaluation d'une situation comme plus ou moins négative, par exemple, passerait en partie par l'estimation que l'on a de ses capacités à faire face (Lazarus, 1999). Bien que les personnes âgées aient des capacités inférieures aux personnes jeunes, une étude réalisée en simulation de conduite automobile par De Raedt et collaborateurs (2006) montre que les personnes âgées rapportent une plus grande satisfaction de leur comportement face à des situations stressantes que des jeunes adultes. Selon les auteurs, le biais de positivité viendrait d'une auto-estimation de soi biaisée des personnes âgées, laquelle atténuerait l'évaluation négative des situations rencontrées (et permettrait de maintenir un certain bien-être).

D'autre part, des études sur les marqueurs somatiques proposant des tâches de prise de décision (Iowa Gambling task) (Chapitre III, 2.3.), ont montré que les réponses somatiques associées aux stimuli positifs et choix appétifs (*i.e.* un comportement d'approche) était plus importantes chez les personnes âgées que celles pour les stimuli négatifs et choix aversifs (*i.e.*, comportement d'évitement) et inversement chez les sujets jeunes (Denburg et al., 2006). Ainsi, nous supposons que les comportements d'approche, qui sont la plupart du temps provoqués par des situations positives, seraient privilégiés chez les personnes âgées par rapport aux comportements d'évitement provoqués par des situations négatives.

A la lumière de l'ensemble de ces connaissances, il nous paraît donc indispensable de considérer cette dimension de tendance à l'action dans le cadre du présent travail de thèse; la question sous-jacente consistant à déterminer si les effets de positivité seraient conservés, amplifiés ou inhibés lorsque la dimension de l'action et ses motivations sous-jacentes sont au centre du processus d'évaluation des situations émotionnelles, comme c'est souvent le cas dans un contexte écologique de l'émotion. Cette question a été évaluée au niveau cérébrale à travers l'étude des modulations de la composante LPP qui, selon plusieurs auteurs est le reflet d'un engagement attentionnel et motivationnel (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ferrari et al., 2008; Schupp, Schmälzle, Flaisch, Weike, & Hamm, 2013). Dans l'**étude 1**, nous avons observé l'importance du niveau d'activation et du contexte dans les effets de positivité. Dans le but de pouvoir comparer l'influence d'une tâche de tendance à l'action par rapport à une tâche d'évaluation émotionnelle, nous avons fait le choix de conserver la même méthodologie expérimentale que l'**étude 1** à l'exception de la tâche de catégorisation.

2. Méthodologie

2.1. Participants

Dix-huit participants âgés de 20 à 35 ans (9 hommes; 22 ± 1.93 ans; 9 femmes; 23.2 ± 3.56 years) et 19 participants âgés de 60 à 75 ans (9 hommes; 64.4 ± 4.19 ans; 10 femmes; 64 ± 2.83 ans) ont effectué l'expérience. Les participants ont été sélectionnés à partir de 18 jeunes volontaires et 21 volontaires âgés suivant la même procédure de recrutement que l'étude 1¹¹. Tous les participants ont signé un formulaire de consentement et ont reçu une indemnité de 40€ après l'expérience.

2.2. Stimuli

Les stimuli utilisés dans l'étude 2 étaient les mêmes que l'étude 1, à savoir 30 images négatives de haute activation (4.12 ± 0.6 , sur une échelle allant de 1 à 9, 1 étant le niveau d'activation le plus bas), 30 images négatives de basse activation (7.48 ± 0.35), 60 images positives (5.38 ± 0.8) et 60 images neutres (1.2 ± 0.2). Pour rappel, les scènes étaient des gros plans qui impliquaient directement le participant, *i.e.*, avec un point de vue à la première personne. Compte tenu de la tâche réalisée dans cette étude 2, les stimuli étaient également caractérisés par la tendance à l'action qu'ils induisaient, laquelle a été identifiée sur la base d'un pré-test sur une échelle continue allant de -5 - tendance à l'évitement à 5 -tendance à l'approche ; la quantification correspondant à l'intensité de la motivation. Tous les stimuli négatifs de basse activation (-2.56 ± 0.34) ou de haute activation (-4.2 ± 0.37) étaient caractérisés par une tendance à l'évitement/éloignement, les stimuli positifs étaient caractérisés par une tendance à l'approche (2.55 ± 0.67) et les stimuli neutres, quant à eux, n'induisaient aucune d'envie de bouger de façon marquée (-0.12 ± 0.33) (figure 35).

¹¹ Tous les participants étaient droitiers, de culture européenne, parlaient couramment le français et étaient de niveau d'éducation équivalent. Ils avaient une vue normale ou corrigée à la normale, n'avaient pas de troubles neurologiques ou neuropsychiatriques, ni de traitements médicamenteux susceptibles de moduler les processus émotionnels (*e.g.*, bêtabloquant). Chaque volontaire a été soumis aux 3 tests neuropsychologiques utilisés dans la première étude pour évaluer sa santé mentale et cognitive, à savoir le Mini Mental State Examination (MMSE), couramment utilisé pour le dépistage des démences séniles, le « Wisconsin Card Test » qui permet de tester les capacités des fonctions exécutives et une échelle de dépression, la version courte du questionnaire de Beck. Chaque participant sélectionné pour l'expérience a obtenu un score minimal de 27 au MMSE pour les sujets âgés et 28 pour les sujets jeunes, avait un score maximum de 4 à la version courte de l'échelle de dépression de Beck et n'a pas fait plus de 12 erreurs à la version courte du « Wisconsin Card Test ».

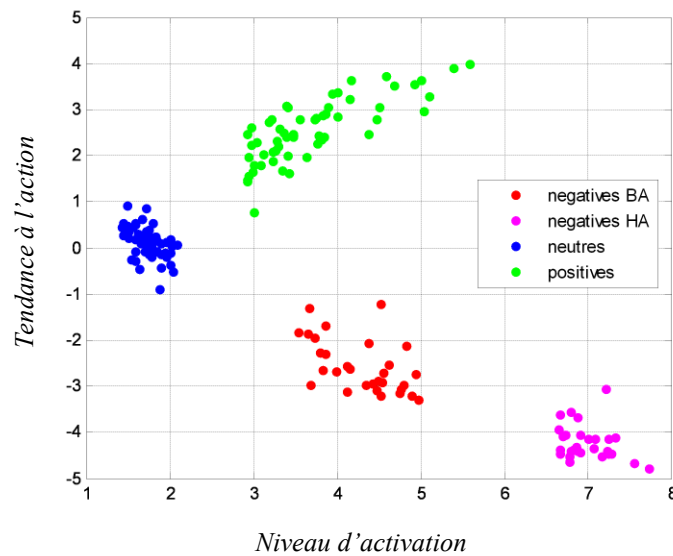


Figure 35: Valeur de tendance à l'action pour chacune des images sur une échelle de -5 - recul/éloignement maximal à 5 -avance/approche maximale) en fonction du niveau d'activation allant de 1 -calme à 9 -excité de chaque image. HA = haute activation ; BA = basse activation

2.3. Protocole expérimental

Le protocole expérimental de l'étude 2 était similaire à celui de la première étude à l'exception de la tâche de catégorisation réalisée (figure 36). Dans cette étude, les participants ont effectué une tâche de catégorisation motivationnelle des scènes naturelles sur la base de leur tendance à l'action. Plus précisément, dans cette tâche, les participants devaient indiquer après la visualisation de chaque scène, la tendance à l'action qu'ils auraient s'ils étaient face à cette situation en réalité, en termes d'éloignement/évitement, d'approche et d'absence d'action. Comme dans l'étude précédente, les stimuli étaient répartis en 2 blocs contextuels se distinguant par le niveau d'activation des stimuli négatifs, l'un contenait 30 images négatives de basse activation, l'autre, 30 images négatives de haute activation. Chaque bloc comprenait également 30 images positives et 30 images neutres. Les images positives et neutres de chacun des blocs avaient des caractéristiques émotionnelles (en termes de type de stimuli, niveau d'activation, de tendance à l'action, etc...) équivalentes et étaient contrebalancées entre les blocs.

Les images étaient présentées 1000 ms après une croix de fixation d'une durée aléatoire comprise entre 1500 ms et 2000ms, puis une phase de réponse d'une durée de 2000 ms suivait

la présentation de chaque image. Comme pour la première étude, le début de cette phase de réponse était indiqué par un point de fixation flashé à la fin de la durée de présentation de l'image. Les participants devaient regarder la scène naturelle comme si ils y étaient en réalité et indiquer leur « tendance à l'action » (éloignement, approche, pas d'action) sur le bouton du clavier correspondant (voir figure 8) et ce, le plus spontanément possible après la disparition de l'image. Avant la réalisation des deux blocs expérimentaux, les participants ont été familiarisés avec la tâche durant une phase d'entraînement contenant 30 essais différents des essais utilisés pour la phase expérimentale.

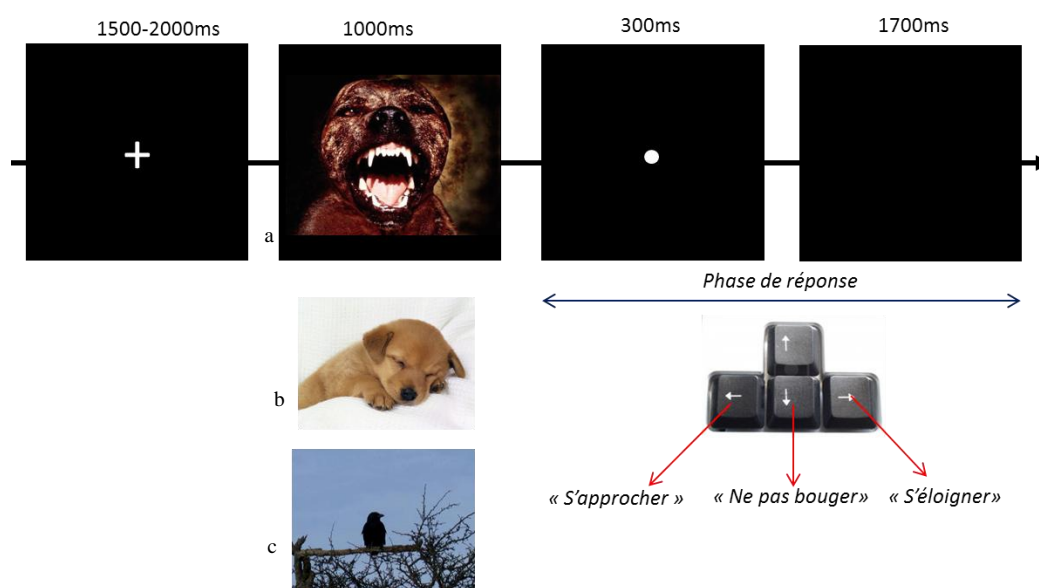


Figure 36: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental. a : négatif ; b : positif ; c : neutre.

Après l'expérience EEG, afin de contrôler la tendance à l'action induits par les images utilisées chez nos deux populations expérimentales, les 180 images ont été présentées aléatoirement une seconde fois pendant 1000 ms chacune et réévaluées, à l'aide d'un joystick, sur une échelle allant de -5 (éloignement) à 5 (approche) permettant de mesurer la direction de la motivation de tendance à l'action et son amplitude.

2.4. Acquisition, traitement et analyse des données

2.4.1. Données comportementales et évaluation subjective

Pour chaque participant, le taux moyen de « bonnes réponses » de la tâche de catégorisation motivationnelle a été calculé pour chaque condition expérimentale. Une réponse a été considérée comme « correcte » pour une scène donnée lorsque le participant a indiqué la même tendance à l'action (éloignement, approcher, ne pas bouger) que celle donnée par le groupe de participants du pré-test sur cette même scène, c'est-à-dire quand il y avait congruence entre la réponse du participant et la réponse moyenne estimée sur le groupe pré-test. Toutes les autres réponses (non-congruentes ou erreurs d'appui bouton du clavier) ont été considérées comme réponses fausses. Les essais sans réponse ont été également considérés comme des erreurs. Les différences dans les taux de réponses correctes ont été évaluées à l'aide d'une ANOVA à mesures-répétées avec l'Age des participants (jeunes, âgés) comme facteur inter-sujets et le bloc de Contexte affectif (basse activation, haute activation) et la Valence des stimuli (négative, positive, neutre) comme facteurs intra-sujets.

Le jugement de la tendance à l'action ressentie et reportée par chaque participant pour chaque catégorie d'images après l'expérience EEG a aussi été soumis à une ANOVA à mesures-répétées en utilisant l'Age en facteur inter-sujets et les 4 catégories d'images (négatives haute-activation, négative basse activation, positive et neutre) en facteur intra-sujets. Les comparaisons de moyennes des deux ANOVAs ont été réalisées en utilisant un test post-hoc de Tukey. Le seuil de significativité de l'ensemble des analyses statistiques a été fixé à 0.05.

2.4.2. Données EEG

Acquisition

L'activité EEG a été enregistrée toute la durée des blocs à l'aide d'un casque Acticap® (Brain Products, Inc.) équipé de 78¹² électrodes d'Ag-AgCl positionnées selon le système 10-20 amélioré (Jasper, 1958; Oostenveld & Praamstra, 2001). Les électrodes de référence et de

¹² Midline: Fpz, Fz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz, Iz ; Right hemisphere: Fp2, AF4, AF8, F2, F4, F6, F8, F10, FC2, FC4, FC6, FT8, FT10, C2, C4, C6, T8, CP2, CP4, CP6, TP8, TP10, P2, P4, P6, P8, P10, PPO2h, PPO10h, PO4, PO8, PO10, POO10h, O2, OI2h; Left hemisphere: Fp1, AF3, AF7, F1, F3, F5, F7, F9, FC1, FC3, FC5, FT7, FT9, C1, C3, C5, T7, CP1, CP3, CP5, TP7, TP9, P1, P3, P5, P7, P9, PPO1h, PPO9h, PO3, PO7, PO9, POO9h, O1, OI1h.

masse utilisées pour l'enregistrement des signaux étaient celles proposées par Acticap®, à savoir, à proximité du vertex (FCz) pour la référence, et à l'avant de la tête (AFz) pour la masse. Les données ont ensuite été re-référencées (hors ligne) à la valeur moyenne des signaux des deux mastoïdes. Les potentiels liés aux clignements et aux mouvements des yeux ont été enregistrés à l'aide de 4 électrodes d'électro-oculographie : 2 électrodes positionnées sur les commissures externes pour les mouvements horizontaux et 2 électrodes au-dessus et en-dessous de l'œil gauche pour les mouvements verticaux et clignements. De plus, à chaque essai, les participants avaient pour instruction de limiter leurs mouvements oculaires durant toute la durée de la croix de fixation et de présentation de l'image. L'impédance des signaux était située en dessous de 5 k Ω . Les signaux ont été amplifiés en utilisant un système BrainAmp™ (Brain Products, Inc.) et échantillonnés à une fréquence de 1000 Hz, avec une résolution de 0.1 μ V et un filtrage analogique passe-bas avec une constante de temps de 10s.

Prétraitement des données EEG

Le traitement de données a été réalisé à l'aide du logiciel BrainAnalyzer™. Dans un premier temps, un filtre passe bas à 30 Hz a été appliqué. Les données ont été ensuite segmentées en période allant de 350ms avant l'apparition du stimulus à 1000ms après l'apparition. Chaque segment a été vérifié visuellement et les essais contenant des artefacts de clignements, de mouvements oculaires importants, d'activité musculaire ou non physiologiques ont été rejetés. Les artefacts liés aux mouvements oculaires légers ont été corrigés en utilisant une analyse en composante indépendante (ACI). Les données ont ensuite été corrigées à la ligne de base prise sur la période de 350ms précédant l'apparition du stimulus. Enfin, afin de mettre en évidence les potentiels évoqués induits par les scènes, pour chaque participant de chaque groupe d'âge, le signal a été moyenné¹³ à travers les essais sur chaque électrode en fonction de la catégorie émotionnelle des stimuli dans chacun des deux blocs de contexte affectif à savoir, les stimuli négatifs de haute activation, positifs et neutres pour le bloc de contexte négatif de haute activation, et les stimuli négatifs de basse activation, positifs et neutres pour le bloc de contexte négatif de basse activation.

Analyse des données EEG

¹³ Moyenne sur l'ensemble des essais par catégorie d'image : Négatives de haute activation $m = 28 \pm 0.37$ essais, Positives $m = 28.3 \pm 0.3$ essais et Neutres $m = 28.12 \pm 0.33$ essais dans le contexte négatif de haute-activation ; Négatives de faible activation $m = 27.9 \pm 0.3$ essais, Positives $m = 28.19 \pm 0.27$ essais et Neutres $m = 28.2 \pm 0.28$ essais dans le contexte négatif de faible activation.

Nous avons focalisé notre analyse sur le potentiel positif tardif (LPP pour l'anglais « Late Positive Potential ») qui a été identifié visuellement sur la base de la grande moyenne des sujets. La composante LPP a été identifiée entre 500-900ms après l'apparition des stimuli au niveau des régions centro-pariétales et mesurée au niveau du pic d'amplitude de la composante à savoir au niveau de l'électrode Pz, en accord avec la littérature (Ito et al., 1998; Kisley et al., 2007; Schupp et al., 2000; Wood & Kisley, 2006). Pour chaque participant, l'amplitude moyenne du signal pour la période 500-900ms au niveau de l'électrode Pz a été extraite pour chaque catégorie d'images des deux blocs de contexte affectif. L'amplitude moyenne de la LPP a ensuite été analysée en utilisant une ANOVA à mesures répétées avec l'Age des participants (jeunes, âgés) comme facteur inter-sujets et le Contexte affectif (basse activation, haute activation) et la Valence émotionnelle (négative, positive, neutre) comme facteurs intra-sujets. Dans le cas où la sphéricité des données n'était pas respectée, une correction des degrés de liberté utilisant la méthode de Greenhouse-Geisser a été appliquée.

Sur la base de nos hypothèses opérationnelles, des comparaisons planifiées ont été menées pour chaque valence et en fonction du contexte affectif sur les deux groupes d'âge dans le but d'évaluer, dans le cas d'une tâche motivationnelle de tendance à l'action 1) les effets de l'âge sur le traitement des stimuli négatifs en fonction de leur niveau d'activation et 2) les effets du contexte affectif négatif (basse activation ou haute activation) sur le traitement des stimuli positifs et neutres (dont les caractéristiques sont à la base identiques entre les 2 blocs de contexte) en fonction de l'âge. Au même titre que la tâche émotionnelle, nous faisons l'hypothèse que l'amplitude de la LPP pour les stimuli négatifs de haute activation ne devrait pas être affectée par l'âge alors que l'amplitude pour les stimuli de basse activation devrait être plus faible pour les sujets âgés par rapport aux sujets jeunes. De plus, nous supposons que l'amplitude de la LPP pour les stimuli positifs devrait augmenter dans un contexte négatif de basse activation. Cet effet de positivité supposé avec l'âge sur les négatifs de basse activation et les positifs devraient contribuer à une réduction du biais de négativité observables classiquement dans des tâches motivationnelles de prise de décision (Denburg et al., 2006) Dans le but d'identifier les préférences et les biais attentionnels entre les catégories d'images en fonction du contexte affectif et de l'âge, des comparaisons de moyennes ont été réalisées en suivant une procédure Post-hoc de Tukey. Le seuil de significativité a été fixé à 0.05.

Afin de contrôler si le genre a influencé le traitement des stimuli émotionnels, et donc l'amplitude de la LPP, dans ce type de tâche motivationnelle de tendance à l'action, nous avons au préalable réalisé une ANOVA à mesures-répétées avec l'âge et le genre comme

facteurs inter-sujets et le bloc de contexte affectif (basse activation, haute activation) et la valence émotionnel (négative, positive, neutre) comme facteurs intra-sujets. Aucun effet du genre n'ayant été relevé, nous avons donc retiré ce facteur des analyses reportées ici. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Statistica 10 (StatSoft, Inc.).

3. Résultats

3.1. Taux de réponses correctes (% de réponses congruentes)

L'analyse statistique du taux de réponses correctes révèle un effet principal du Contexte affectif ($F(1, 35) = 33,97$; $p < .001$) et de la Valence ($F(2, 70) = 5.636$, $p < .006$) et un effet d'interaction entre ces deux facteurs ($F(2, 70) = 20,525$; $p < .0001$). Les comparaisons de moyennes montrent que, dans le contexte de haute activation, le taux de bonnes réponses pour les stimuli négatifs est meilleur que celui obtenu pour les stimuli positifs et neutres; les performances des stimuli positifs étant elles-mêmes également meilleures que celles obtenues pour les neutres. Dans le contexte de basse activation, les stimuli positifs montrent un taux de bonnes réponses meilleur que les stimuli négatifs et neutres, ces derniers n'étant pas distincts par ailleurs. Ces différences dans les performances relatives des catégories d'images entre les deux contextes seraient principalement liées aux stimuli négatifs. En effet, le taux de bonnes réponses est plus faible pour les images négatives de basse activation ($62.61\% \pm 4\%$) que pour les images négatives de haute activation ($84.23\% \pm 2.95\%$, $p < .001$). Les taux de bonnes réponses des situations positives (AH: $74.86\% \pm 3.57\%$, BA : $74.5\% \pm 3.32\%$) et neutres (HA : $58.65\% \pm 4.64\%$, BA : $59.74\% \pm 4.75\%$), quant à eux, apparaissent statistiquement identiques entre les deux contextes affectifs. Ces résultats sont obtenus quel que soit l'âge. Aucun effet de l'âge n'a été observé que ce soit en effet principal ($F(1,35)=3,01$; ns) ou en interaction avec les autres facteurs

3.2. Evaluation de la « tendance à l'action »

L'analyse statistique révèle que la tendance à l'action varie selon la Valence des stimuli ($F(3,105)=376$; $p < .001$). En accord avec le pré-test, les images négatives de haute activation se caractérisent par la plus forte tendance à l'éloignement (à l'évitement) ($-3.55, \pm 0.17$ sur une échelle de -5 à 5) par rapport aux images négatives de basse activation ($-2.15, \pm 0.19$). Les images positives impliquent, quant à elles, une tendance à l'approche (2.54 ± 0.16). Enfin,

les images neutres n'induisent aucune envie de bouger particulière ($0.39, \pm 0.12$). Les 4 catégories sont significativement distinctes ($p < .001$). Les stimuli sont évalués de la même manière quel que soit l'âge. En effet, aucun effet principal de l'âge ($F(1,35)=1.89$, ns) ou d'interaction avec l'âge n'est observé ($F(3,105)=1.9$, ns).

3.3. Analyse de l'amplitude de la LPP

L'analyse statistique de l'amplitude moyenne de l'onde LPP (figure 37) montre un effet principal uniquement de la Valence ($F(1.8, 62.97) = 89.65$, $p < .001$) et de l'Age ($F(1, 35) = 19.97$, $p < .001$) sur l'amplitude de la LPP. Conformément à nos hypothèses, nous observons aussi un effet significatif d'interaction Contexte x Valence ($F(2,69.84) = 4.86$, $p = .011$) ainsi qu'une interaction double Age x Contexte x Valence ($F(2,69.84) = 4.20$, $p = .019$, figure 38). Aucun autre effet d'interaction n'est observé.

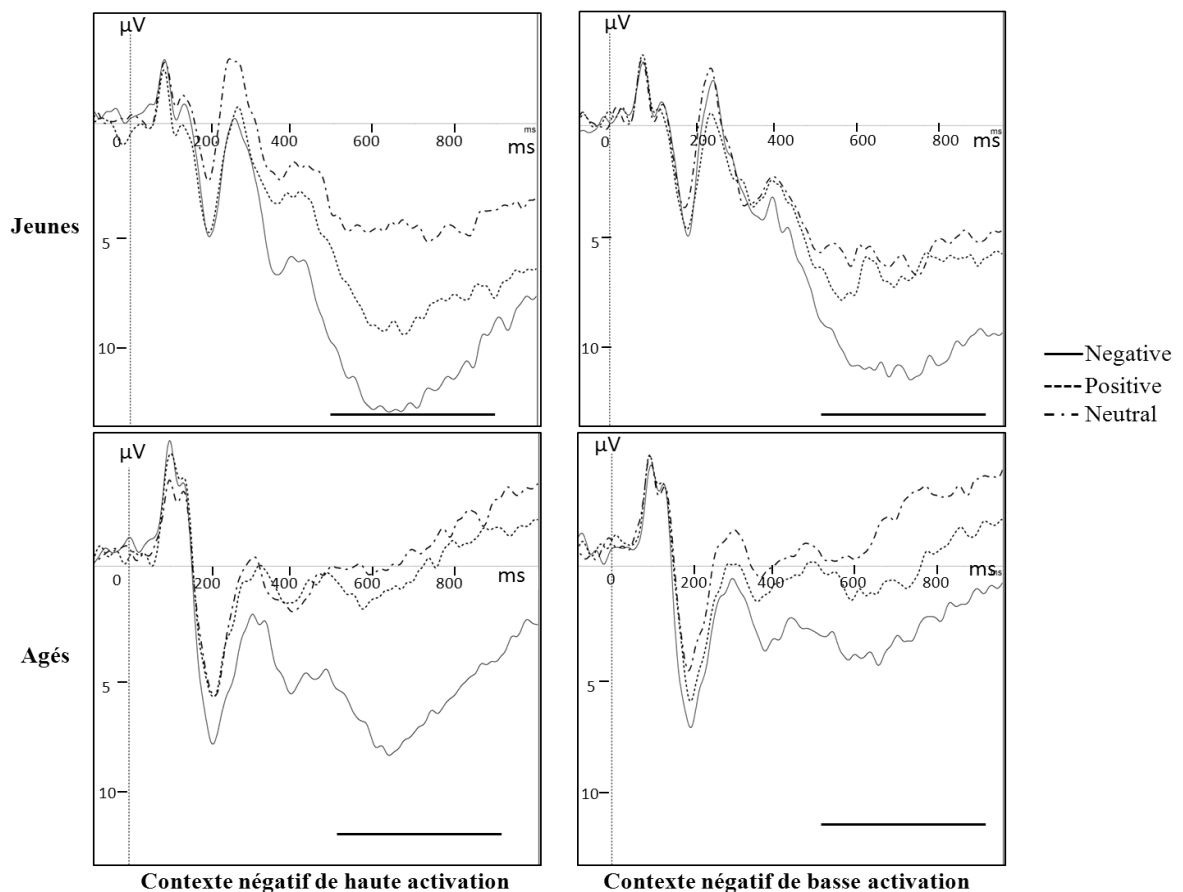


Figure 37: Potentiels évoqués enregistrés au niveau de l'électrode Pz dont la LPP pour chaque âge en fonction de la valence émotionnelle et du contexte. Le trait plein correspond à la période 500-900ms de référence utilisée pour extraire l'amplitude moyenne de l'onde LPP.

Les comparaisons planifiées sur les stimuli négatifs en fonction de leur niveau d'activation montrent une distinction entre les deux groupes d'âge ; l'amplitude de la LPP étant significativement plus ample pour les stimuli négatifs de haute activation par rapport aux stimuli négatifs de basse activation chez les personnes âgées uniquement ($p < .01$). Les personnes âgées affichent, par ailleurs, une LPP pour les stimuli négatifs moins ample que les sujets jeunes, quel que soit le niveau d'activation ($p < .01$). Les personnes âgées montrent également des amplitudes de LPP significativement plus faibles que les jeunes pour les images positives ($p < .001$) et pour les images neutres ($p < .001$), quel que soit le contexte. Entre les deux contextes, l'amplitude de la LPP pour les stimuli positifs comme pour les stimuli neutres est statistiquement similaire

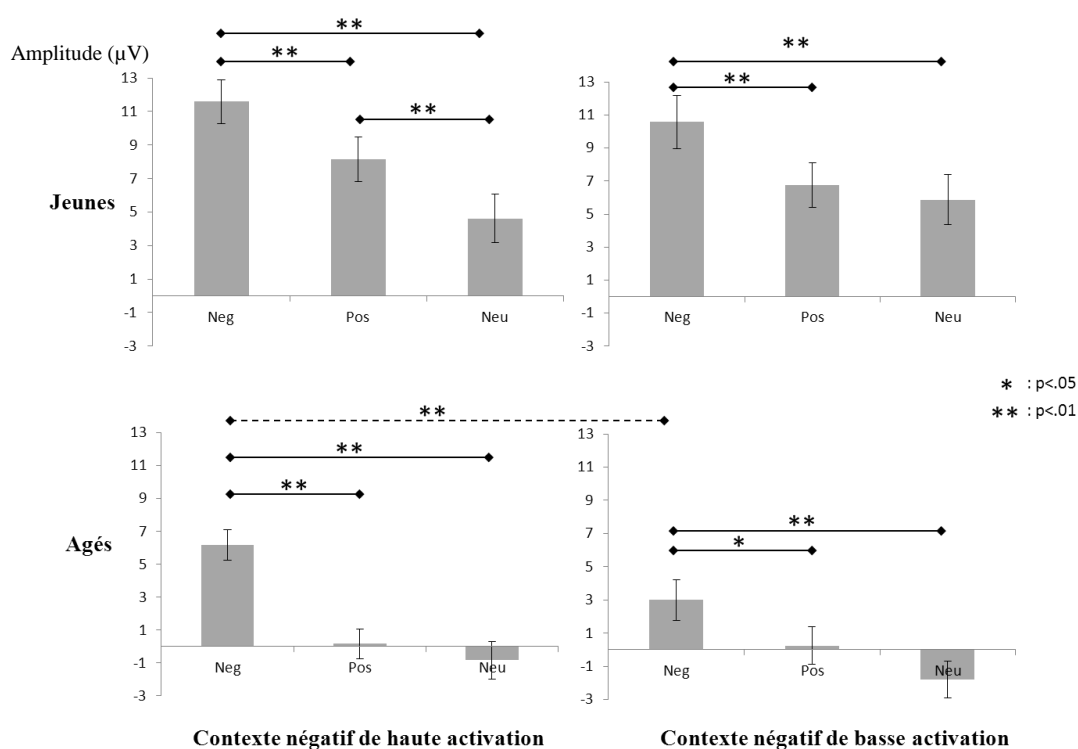


Figure 38: Amplitude moyenne de la LPP en fonction de l'âge, du contexte et de l'émotion (Neg = Négative; Pos = Positive; Neu = Neutre) et résultats des comparaisons post-hoc. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standards.

Concernant le traitement relatif des stimuli émotionnels pour chaque âge, l'analyse statistique réalisée dans le contexte à haute activation révèle une amplitude plus importante pour les stimuli négatifs (jeunes: $M=11.6$, $ES=1.3$; âgés: $M=6.15$, $ES=0.93$) que pour les stimuli positifs pour les deux groupes d'âge (jeunes: $M=8.14$, $ES=1.33$; âgés: $M=0.15$, $ES=0.9$; $p < .001$ pour les deux comparaisons). Dans ce contexte, l'amplitude de la LPP induite par les stimuli neutres (jeunes: $M=4.61$, $ES=1.43$; âgés: $M=-0.83$, $ES=1.13$) est plus

faible par rapport aux stimuli positifs ($p < .001$) et négatifs ($p < .001$) chez les sujets jeunes et par rapport aux stimuli négatifs seulement chez les sujets âgés ($p < .001$).

Dans le contexte de basse activation, un pattern identique est observé entre les personnes jeunes et âgées. La LPP pour les stimuli négatifs (jeunes : $M=10.58$, $ES=1.6$; âgés : $M=2.99$, $ES=1.21$) est significativement plus ample que pour les positifs (jeunes : $M=6.77$, $ES=1.35$, $p < .001$; âgés : $M=0.25$, $ES=1.13$ $p < .001$) et neutres (jeunes : $M=5.87$, $ES=1.53$; âgés : $M=-1.79$, $ES=1.11$; $p < .001$) pour les deux groupes d'âge. Quel que soit l'âge, l'amplitude de la LPP pour les images positives n'est pas significativement différente de celle des images neutres.

4. Discussion

L'objectif principal de cette étude consistait à déterminer si les effets de positivité seraient conservés, amplifiés ou inhibés lorsque la dimension de l'action et ses motivations sous-jacentes sont au centre du processus d'évaluation des situations émotionnelles. Cette question a été évaluée au niveau cérébral à travers l'étude des modulations de la composante LPP qui, selon plusieurs auteurs est le reflet d'un engagement attentionnel et motivationnel (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ferrari et al., 2008; Schupp et al., 2013) et ce, lors d'une tâche de catégorisation de scènes naturelles émotionnelles basée sur les tendances à l'action que ces dernières suscitent. Afin d'être comparable à l'**étude 1** pour une évaluation de l'effet de consigne de tâche, cette seconde étude s'est également particulièrement focalisée sur l'effet de l'âge sur le traitement des stimuli négatifs et sur l'influence contextuelle de ces derniers sur le traitement des autres stimuli positifs et neutres

Traitement du niveau d'activation des stimuli négatifs avec l'âge au cours d'une tâche de tendance à l'action

Une différence entre les deux groupes d'âge dans le traitement relatif des scènes négatives de haute et basse activation a été révélée. En accord avec la littérature sur la composante LPP, laquelle est sensible au niveau d'activation du stimulus et la signification motivationnelle (De Cesarei & Codispoti, 2011 ; Schupp et al., 2000 ; Ferrari et al., 2008), l'amplitude de la LPP pour les scènes négatives de basse activation était significativement réduite par rapport à celle des scènes négatives de haute activation. Cette réduction n'était toutefois observée que chez personnes âgées. Des résultats analogues ont été observés chez les personnes âgées dans

quelques études comportementales utilisant des tâches de jugements émotionnels ou d'inhibition (*e.g.*, Grühn et Scheibe, 2008 ; Wurm, 2004; voir Chapitre V, 1.1). Les résultats obtenus (absence d'effet du niveau d'activation) chez les jeunes personnes, quant à eux, diffèrent de ceux de la littérature qui observent classiquement une diminution de la composante LPP avec celle du niveau d'activation mais dans des tâches d'évaluation émotionnelle. Nos données et celles de la littérature suggèrent donc que, chez les jeunes personnes, la pertinence motivationnelle des scènes négatives vis-à-vis de la tendance à l'action (et non la pertinence émotionnelle) serait indépendante du niveau d'activation de ces stimuli, en plus d'être significativement plus importante que chez les personnes âgées. Chez les personnes âgées, en revanche, la prévalence des stimuli négatifs de haute activation sur les stimuli négatifs de basse activation serait maintenue aussi bien au niveau des jugements émotionnels qu'au niveau de jugements motivationnels centrés sur l'action.

Influence du contexte sur les biais attentionnels

Nous avons supposé une influence contextuelle des scènes négatives sur le traitement des scènes positives et neutres selon l'âge des participants. Comme pour la première étude, aucun effet de contexte n'a été observé sur le traitement des scènes positives quel que soit le groupe d'âge considéré. Un même résultat a été observé pour les scènes neutres. Quelques effets de contexte ont toutefois été notés avec l'âge dans le traitement relatif des scènes négatives, positives et neutres, en d'autres termes sur les biais attentionnels. Ces effets ont été principalement observés dans le traitement relatif des stimuli positifs et neutres. Les effets sur le traitement des stimuli négatifs par rapport aux autres stimuli, positifs et neutres, étaient, quant à eux, principalement liés à l'âge. L'ensemble de ces effets est présenté ci-après.

Biais de négativité

Chez les sujets jeunes, un biais de négativité a été observé, conformément à nos hypothèses, et ce, quel que soit le contexte affectif négatif de haute et basse activation. L'amplitude de la LPP était, en effet, systématiquement plus importante pour les stimuli négatifs que pour les stimuli positifs et neutres. Notre étude centrée sur les tendances à l'action rapporte ainsi un même biais de négativité que celui observé dans une majorité et diversité d'études utilisant des tâches de catégorisation émotionnelle ou de perception implicite des émotions (Delplanque et al., 2004; Ito et al., 1998; Schupp et al., 2000; HT Schupp et al., 2003; Smith et al., 2006; Wood & Kisley, 2006) et suggère une plus grande attention, une facilitation de traitement et un plus grand engagement motivationnel pour les

situations négatives (Dolan, 2002; Hajcak et al., 2009). Toutefois, sur la base de la littérature sur les effets du niveau d'activation (Bradley et al., 2007; De Cesarei & Codispoti, 2011; Rozenkrants & Polich, 2008), ces résultats peuvent être relativement surprenants dans le contexte négatif de basse activation compte tenu du fait que les images positives ont été évaluées subjectivement comme étant plus activatrices et de pertinence motivationnelle plus grande sur le plan de l'action que les images négatives de basse activation. La valence négative des scènes suffirait en soi à justifier leur prévalence chez les jeunes dans cette tâche motivationnelle de tendance à l'action. Comme dans l'étude précédente, ce résultat conforte l'idée que, d'un point de vue de l'évolution, les stimuli menaçants pour la survie ou potentiellement dangereux possèdent une plus grande valeur adaptative et motivationnelle que les stimuli positives et neutres ((Baumeister et al., 2001; Pourtois et al., 2013; Rozin & Royzman, 2001) et particulièrement ici vis-à-vis des choix décisionnels centrés sur l'action. De ce fait, le système motivationnel orienterait, de façon privilégiée, l'attention sur les situations négatives qui pourraient nuire à l'intégrité de l'individu et faciliterait leur traitement (Briggs & Martin, 2008; LeDoux, 1995; Ito and Cacioppo, 2005; Rozin and Royzman, 2001), comme en atteste l'amplitude de la LPP pour ces stimuli (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ferrari et al., 2011; Hajcak et al., 2010).

Un même biais de négativité a été observé chez les participants âgés, quel que soit le contexte affectif, l'amplitude de la LPP était plus importante pour les scènes négatives que pour les scènes positives et neutres que ces stimuli négatifs soient de haute ou de basse activation. Il est particulièrement intéressant d'insister sur le fait que bien que l'amplitude de la LPP était significativement réduite pour les stimuli négatifs de basse activation par rapport aux stimuli négatifs de haute activation, un biais de négativité était préservé avec l'âge dans ce contexte affectif négatif de basse activation. Ces données laissent supposer que le système motivationnel des personnes âgées, comme chez les jeunes personnes, privilégierait sur le plan attentionnel, les stimuli négatifs et leur traitement, quel que soit leur niveau d'activation en raison de leur plus grande valeur adaptative et motivationnelle; une graduation de traitement des différents niveaux d'activation et de pertinence motivationnelle des stimuli négatifs étant toutefois maintenue chez les personnes âgées. Ce résultat va à l'encontre des données comportementales et de modélisation de la littérature lesquelles ont suggéré qu'un niveau d'activation faible contribuerait à l'observation des effets de positivité (voir Chapitre V, 1.1. ; Charles, 2010; Streubel & Kunzmann, 2011). Il est à noter, toutefois, que ces conclusions ont été obtenues sur la base de tâches ciblant sur les propriétés émotionnelles des

stimuli qui, selon certains auteurs, seraient plus pertinentes, « par défaut », pour l'individu âgé (Emery & Hess, 2008). La diminution du degré de pertinence des propriétés émotionnelles pour la réalisation de la tâche de tendance à l'action a probablement contribué à l'absence d'effet de positivité avec l'âge comme en atteste différentes études manipulant l'effet de consigne de tâche (Kennedy, 2004; Löckenhoff & Carstensen, 2007). De plus, une revue de littérature (Eppinger, Hämmerer, & Li, 2011) mêlant psychologie et neurobiologie sur la prise de décision et l'apprentissage basé sur la récompense (« reward-based learning ») laisse supposer que les personnes âgées, comparées aux plus jeunes, sont plus sensibles à un apprentissage par feedback négatif que par un feedback positif uniquement sous condition que les résultats des prises de décision aient une influence sur le comportement ultérieur. Autrement dit, quand le résultat d'une prise de décision n'a pas d'impact direct (physique ou cognitif) sur le comportement de l'individu, les adultes âgés seraient attirés par les récompenses et chercheraient moins à éviter les punitions (*i.e.*, tâches d'IGT Denburg et al., 2006). Dans le cadre de notre étude, la décision était basée sur le choix d'un comportement d'approche ou d'évitement ou de non action en fonction de la valeur affective et motivationnelle de la situation. Bien que ce choix n'ait pas de conséquences réelles pour l'individu, nous avons essayé d'orienter cette décision sur une dimension plus écologique en indiquant aux participants de répondre comme si ils étaient face à la situation en réalité, de sorte que les participants aient une représentation plus écologique de leur action et des conséquences associées pour lui. Par ailleurs, les situations négatives de haute et basse activation que nous avons utilisées représentaient toutes des situations menaçantes ou potentiellement dangereuses avec pour conséquences associées, des risques d'atteinte potentiel de l'intégrité de l'individu. Ces différents éléments à la lumière des hypothèses proposées par Eppinger (2011) contribueraient à justifier le biais de négativité maintenu chez les sujets âgés dans les deux contextes, en comparaison avec une tâche de catégorisation émotionnelle où il y a peu de conséquences directes suite à la prise de décision.

Biais entre les scènes positives et neutres

Concernant le traitement relatif des scènes positives et neutres, une différence entre les deux contextes selon l'âge des participants a été constatée. De manière surprenante, le biais émotionnel couramment observé dans la littérature (voir Chapitre II, 4.1) chez les personnes jeunes (Ã, Ferrari, Cesarei, & Cardinale, 2006; Cuthbert et al., 2000; Delplanque et al., 2006; Ito et al., 1998; Schupp, Junghöfer, Weike, & Hamm, 2003) et chez les personnes plus âgées (Kisley et al., 2007; Langeslag & van Strien, 2009; Wood & Kisley, 2006), à savoir une

prévalence des stimuli positifs sur les stimuli neutres, n'a pas été observée dans la majorité des cas bien que les images positives ont été évaluées subjectivement comme étant plus activatrices et de pertinence motivationnelle plus grande sur le plan de l'action que les images neutres. La prévalence des scènes positives sur les neutres n'a été observée que chez les jeunes, dans le contexte affectif négatif de haute activation. Plusieurs raisons ont pu contribuer à ce résultat. Tout d'abord, un manque de puissance dû à un nombre de participants limité ainsi qu'une variabilité dans les mesures a pu contribuer à cette absence de différence. D'autre part, selon certaines théories motivationnelles, la « tendance à l'action » se définirait à la fois par rapport aux buts du comportement (Frijda et al., 1989) et, sur la base du degré d'urgence à agir (Gable & Harmon-Jones, 2010) et des gains ou des pertes supposés (par anticipation) pour ce comportement par rapport à un objectif désiré et attendu (pour revue Eder & Hommel, 2013). Dans le cadre du modèle des « processus-composantes », cette notion d'urgence serait un des critères dans l'évaluation de la pertinence d'un stimuli et serait donc pris en compte dans le processus d'évaluation cognitive (Sander & Scherer, 2009). Contrairement aux situations négatives, la plupart des situations positives que nous avons utilisées ne nécessiteraient pas en situation écologique de réaction rapide, ni d'engagement comportemental important, tout comme nos stimuli neutres. De ce fait et compte-tenu de l'utilisation de simples images sans conséquences réelles pour l'individu, il est possible que l'engagement du système motivationnel et des processus attentionnels associés soit resté faible pour nos stimuli positifs comme en atteste la faible amplitude de la LPP qu'elles ont induite (Bradley et al., 2007; De Cesarei & Codispoti, 2011). Par ailleurs, au regard des résultats de notre première étude et de la littérature sur les effets de positivité avec l'âge, l'absence de distinction entre les situations positives et neutres chez les personnes âgées dans cette seconde étude soulève l'idée d'une dissociation entre les processus émotionnels et les processus motivationnels de tendance à l'action avec l'âge; l'un primant sur l'autre selon les situations émotionnels et selon l'objectif de tâche. Quant à l'unique différence observée entre les situations positives et neutres chez les sujets jeunes dans le contexte négatifs de haute activation, il est supposé que ce contexte a peut-être davantage mobilisé le système appétitif relatif au comportement d'approche, suite à une mobilisation générale des processus attentionnels sur les stimuli émotionnels et à une facilitation générale des prédispositions d'approche et d'évitement. Cette hypothèse reste toutefois limitée compte tenue de l'absence d'effet de contexte, chez les jeunes, sur le traitement des stimuli positifs et neutres.

Enfin, alors que quelques effets de l'âge ont été observés au niveau physiologiques selon le contexte affectif, aucun effet de l'âge n'a été constaté au niveau comportemental à la fois sur les données correspondant à la tâche de catégorisation motivationnelle et sur l'évaluation subjective de la « tendance à l'action ». Les raisons supposées de cette absence d'effet d'âge seraient identiques à celles avancées dans la première étude à savoir le fait qu'un effet d'habituation a pu biaiser les résultats de l'évaluation subjective en raison d'une vision des stimuli pour la seconde fois et le fait que le report des réponses était décalé temporellement par rapport à la présentation des images dans la tâche de catégorisation.

Il est à noter que notre étude présente quelques limites. En effet, les performances des participants (jeunes et âgés) sur la catégorisation des stimuli est globalement assez faible pour les stimuli neutres (58% environ) et pour les stimuli négatifs de faible activation (62% environ), comparativement aux stimuli positifs (75%) et les stimuli négatifs de haute activation (80%). Ce point est d'autant plus important que les réponses des participants n'ont pas été prises en compte dans le traitement des données EEG et l'élaboration des ERPs de chaque sujet pour chaque catégorie d'images. De plus, bien que les stimuli positifs utilisés ici ne soient pas les stimuli les plus pertinents pour notre tâche motivationnelle de tendance à l'action, il peut être supposé que les résultats puissent évoluer avec l'augmentation du niveau d'activation et de la pertinence motivationnelle de ces stimuli. Comme pour la première étude, afin de répondre à cette question, il faudrait manipuler ce paramètre pour les stimuli positifs et voir dans quelle mesure l'effet de l'âge sur les stimuli positifs peut contribuer à l'observation de changements de biais attentionnels avec l'âge (selon leur niveau d'activation et de pertinence) dans ce contexte de tâche motivationnelle de tendance à l'action. Au regard de notre première étude et de la littérature, cette seconde étude en EEG a montré que les effets de positivité dépendraient des buts de la tâche et qu'ils concerneraient davantage les tâches centrées sur les processus d'évaluation émotionnelle plutôt que sur les processus d'évaluation motivationnelle de tendance à l'action. En effet, alors qu'une réduction du biais de négativité est observée pour les stimuli de basse activation dans des tâches de catégorisation émotionnelle (Kisley et al., 2007; Wood & Kisley, 2006), d'évaluation émotionnelle (Gruhn & Scheibe, 2008; Streubel & Kunzmann, 2011, **étude 1**) ou de mémorisation, ce biais est maintenu avec l'âge dans une tâche de « tendance à l'action » d'approche et d'évitement. Ainsi, au regard du modèle du « contrôle cognitif », les processus de régulation ne se mettraient pas en place dans ce type de tâche. La motivation relative à la survie de l'individu serait prioritaire sur le maintien d'un haut niveau de bien-être. Les seuls effets de l'âge se

limiteraient dans la tâche motivationnelle de tendance à l'action à une atténuation globale de l'engagement du système motivationnel, quel que soit la nature des scènes.

5. Conclusion

Cette étude a utilisé le même protocole que l'étude 1 à l'exception de la tâche demandée au participant qui n'était plus une tâche de catégorisation affective mais une tâche de catégorisation selon la tendance à l'action. Conformément à la littérature, un biais de négativité est toujours observé chez les participants jeunes entre les stimuli négatifs et positifs, quel que soit le niveau d'activation des stimuli négatifs. Chez les participants âgés, une préservation du biais de négativité est observée que les stimuli négatifs soient de haute activation ou de basse activation contrairement à l'étude 1 où le biais de négativité était réduit pour les images négatives de basse activation. Ce résultat suggère que les effets de positivité concerneraient davantage les tâches centrées sur les processus d'évaluation émotionnelle plutôt que sur les processus d'évaluation motivationnelle de tendance à l'action.

Chapitre X - Effets de positivité, orientation attentionnelle et conflit émotionnel

Etude 4 - Les effets de positivité chez les personnes âgées en situation de conflit émotionnel : modulation de l'attractivité et de la distraction des stimuli selon leurs valences.

1. Objectifs et hypothèses

Le but de cette thèse était d'identifier et de mieux comprendre les conditions d'émergence des effets de positivité ; effet pouvant rendre les personnes âgées plus vulnérables à des situations dangereuses par rapport aux personnes plus jeunes.

Il est avéré que les stimuli sont automatiquement évalués dans leur environnement (Bargh et al., 1992); leur traitement dépend ainsi de toutes les autres informations présentées au préalable ou simultanément. Selon différentes études (Goeleven et al., 2010; Smith et al., 2006), ce contexte perceptif dans lequel est présenté le stimulus pourrait favoriser les effets de positivité. L'**étude 1** a pu mettre en évidence, dans un paradigme de présentation séquentielle des stimuli, une modulation avec l'âge des effets contextuels perceptifs sur les biais attentionnels. De plus, elle a également montré des effets contextuels sur le traitement relatif de scènes naturelles émotionnelles et neutres selon leurs propriétés émotionnelles.

Dans cette étude, nous avons souhaité évaluer, avec l'âge, les influences réciproques des stimuli émotionnels sur leur traitement respectif selon leur valence émotionnelle et ce, dans un paradigme de présentation simultanée. Notre attention s'est particulièrement portée sur l'évolution avec l'âge des biais attentionnels et des capacités à traiter l'information signifiante dans des environnements émotionnels conflictuels, (*i.e.*, configuration opposant une information négative à une information positive) en raison des risques de vulnérabilité des personnes âgées susceptibles d'apparaître dans ce type de configuration dus aux effets de positivité. En effet, de nombreuses études réalisées avec des stimuli appariés, notamment en oculométrie (voir chapitre III, 3.2) montrent que les individus âgés détournent leur attention des stimuli négatifs et/ou sont davantage attirés par les stimuli positifs. D'autres tâches implicites dans lesquelles l'émotion n'est pas pertinente pour la tâche, telles que des tâches de

« Stroop émotionnel », montrent que les personnes âgées, par rapport aux jeunes, sont moins facilement distraites par les stimuli négatifs que par les stimuli positifs. Ces quelques études suggèrent que le pouvoir automatique attractif et distracteur des stimuli négatifs (par rapport aux stimuli positifs) sur l'attention est réduit avec l'âge. Ces modulations dans les biais attentionnels seraient le reflet de processus de régulation émotionnels qui influenceraient le traitement des stimuli émotionnels, suite à des changements dans les buts motivationnels des personnes âgées (Carstensen et al., 2003; Mather & Carstensen, 2005; Nashiro et al., 2011).

Sous l'hypothèse d'une stratégie de régulation de type « redéploiement attentionnel » avec évitement des émotions négatives, laquelle serait principalement utilisée par les personnes âgées (Opitz, Rauch, Terry, & Urry, 2012), les effets du vieillissement sur le traitement des stimuli négatifs favoriseraient le maintien ou l'orientation vers des stimuli plus positifs. Par conséquent, en cas de conflit émotionnel opposant des situations de valence antagoniste (négative vs positive), cette diminution du pouvoir attractif des stimuli négatifs avec l'âge irait à l'avantage d'un biais de positivité (*i.e.*, d'une attention plus importante pour les situations positives). Il est à noter, toutefois, que les effets de l'âge sur le traitement des stimuli émotionnels et les biais attentionnels ont été principalement étudiés dans des tâches de perception passive ou implicites n'engageant que l'attention « exogène » liée aux propriétés émotionnelles des stimuli.

Dans cette étude, nous avons souhaité mettre en compétition l'attention « exogène » et « endogène ». Pour cela, nous avons proposé la réalisation d'une tâche explicite orientant l'attention volontaire des participants sur le traitement émotionnel de stimuli d'intérêt (positifs) ou de non intérêt (négatifs) pour les personnes âgées. Nous avons utilisé un paradigme de présentation simultanée de deux stimuli dont l'un est la cible de la tâche et l'autre un distracteur pouvant perturber la détection et le traitement du stimulus cible. Cet effet d'interférence dû au distracteur est supposé dépendre à la fois de son contenu émotionnel et de celui de la cible. Par ailleurs, alors que le distracteur peut provoquer un engagement de l'attention « exogène » (de par ses propriétés émotionnelles), la cible est supposée bénéficier à la fois de l'attention « exogène » (due à ses propriétés émotionnelles) et d'une attention « endogène » liée à la tâche qui est centrée sur la catégorisation émotionnelle de cette cible. Nous avons supposé que les effets de positivité liés à l'âge pouvaient entrer en compétition ou en synergie avec l'attention endogène relative aux buts de la tâche et favoriser l'orientation de l'attention vers les stimuli positifs et leur traitement et/ou défavoriser l'orientation de l'attention vers les stimuli négatifs et leur traitement.

Nous mentionnons que ce type de paradigme apparaît particulièrement pertinent vis-à-vis des stratégies de régulation émotionnelle de redéploiement attentionnel principalement utilisée par les personnes âgées (Opitz et al., 2012). Ce paradigme est inspiré d'une étude comportementale réalisée par Goeleven et collaborateurs (2010) sur le rôle de l'interférence et de l'inhibition affective dans les effets de positivité avec l'âge à travers l'utilisation de visages émotionnels (de joie et de tristesse). Dans cette étude, des stimuli des scènes naturelles induisant une émotion de peur ou de bien-être ont été utilisés (ou aucune émotion).

Afin de tester nos hypothèses, cette étude présente deux versants : Un 1^{er} versant est comportemental, il est basé sur l'analyse des temps de réponse ; le 2^{ème} versant réplique l'étude comportementale en EEG afin de déterminer le décours temporel de l'influence du distracteur sur le traitement de la cible selon leur valence respective. Notre analyse EEG s'est concentrée *in fine* sur les composantes de latence intermédiaire, P2 et N2, sensibles à l'attention sélective et consciente (Eimer, Cockburn, Smedley, & Driver, 2001; Gherri & Eimer, 2010; Kanske, Plitschka, & Kotz, 2011; Patel & Azzam, 2005) ainsi qu'à la LPP (Olofsson et al., 2008) mise en évidence dans les **études 1 et 3**. L'objectif de cette étude était de comprendre dans quelle mesure, avec l'âge, 1) le contenu émotionnel des cibles peut faciliter les processus attentionnels ainsi que le traitement perceptuel de ces mêmes cibles, et 2) dans quelle mesure la valence du distracteur peut perturber le traitement des cibles.

2. Expérience comportementale

2.1. Méthodologie

2.1.1. Participants

Trente-deux participants âgés de 20 à 35 ans (10 hommes, 22 femmes $M=22.6 \pm 0.5$ ans ont participé à l'expérience) et vingt-trois participants âgés de 60 à 80 ans (7 hommes, 16 femmes $M=68.4 \pm 1.1$ ans) ont participé à cette expérience. Tous les participants étaient droitiers, de culture européenne, parlaient couramment le français et étaient de niveau d'éducation équivalent. Les participants ont été sélectionnés à partir d'un groupe de 25 volontaires jeunes et de 29 volontaires âgés, suivant la même procédure de recrutement que

l'étude 1¹⁴ et 3. Tous les participants ont signé un formulaire de consentement et ont reçu une indemnité de 10€ après l'expérience.

2.1.2. Stimuli

Les stimuli étaient projetés sur fond noir, en utilisant le logiciel E-prime (E-prime Psychology Software Tolls Inc., Pittsburgh, USA) et un écran d'ordinateur de 19 pouces placé à 90 cm du participant. Les stimuli étaient constitués de 180 images de scènes naturelles (avec une résolution de 640 par 480 pixels) divisées en 3 catégories : 60 images négatives, 60 positives et 60 neutres. Les scènes étaient des gros plans qui impliquaient directement le participant (*i.e.*, avec un point de vue à la première personne). Les images ont été sélectionnées à partir de plusieurs banques de données à savoir : l'« International Affective Picture System » (IAPS) (Lang et al., 1997), des banques d'images (libres de droits) proposées par des sites internet et des images personnelles. Le contenu des scènes était varié et équivalent (dans les types de scènes) entre les stimuli de différentes valences. Les scènes négatives étaient des images d'animaux dangereux (*e.g.*, araignées, serpents, chiens agressifs), d'environnements non sécurisants (*e.g.*, tornade, feu de forêt, tsunami) et de personnes agressives (*e.g.*, munies d'une arme blanche ou à feu, attitudes agressives). Les scènes positives contenaient des animaux agréables (*e.g.*, chiots, dauphins), des paysages idylliques (*e.g.*, plages, montagnes) et des individus sympathiques et accueillants (*e.g.*, scènes festives, enfants qui jouent). Les scènes neutres avaient un contenu similaire aux deux autres catégories d'images avec des environnements, des individus, des animaux et des objets non-émotionnels. Les images ont été catégorisées sur la base d'un pré-test effectué par 34 volontaires (22.7 ans 1.2, 20 femmes, 14 hommes). Les résultats du pré-test sont présentés en annexe E.

¹⁴ Tous les participants étaient droitiers, de culture européenne, parlaient couramment le français et étaient de niveau d'éducation équivalent. Ils avaient une vue normale ou corrigée à la normale, n'avaient pas de troubles neurologiques ou neuropsychiatriques, ni de traitements médicamenteux susceptibles de moduler les processus émotionnels (*e.g.*, bêta-bloquant). Chaque volontaire a été soumis aux 3 tests neuropsychologiques utilisés dans la première étude pour évaluer sa santé mentale et cognitive, à savoir le Mini Mental State Examination (MMSE), couramment utilisé pour le dépistage des démences séniles, le « Wisconsin Card Test » qui permet de tester les capacités des fonctions exécutives et une échelle de dépression, la version courte du questionnaire de Beck. Chaque participant sélectionné pour l'expérience a obtenu un score minimal de 27 au MMSE pour les sujets âgés et 28 pour les sujets jeunes, avait un score maximum de 4 à la version courte de l'échelle de dépression de Beck et n'a pas fait plus de 12 erreurs à la version courte du « Wisconsin Card Test ».

Les stimuli négatifs évoquaient une émotion de peur. Compte tenu des résultats de l'étude 1 et de la littérature, nous avons choisi des images négatives présentant un degré d'activation diminué (négatives : 5.5 ± 0.8) afin de favoriser l'émergence des effets de positivité. Les images positives évoquaient une émotion de bien-être. Leur niveau d'activation était équivalent à celui des images négatives (positives= 5.4 ± 0.6) afin d'éviter des biais attentionnels liés à une différence de niveau d'activation entre les stimuli positifs et négatifs. En effet, l'idée ici étant de savoir dans quelle mesure la valence de ces stimuli allait jouer un rôle dans l'émergence des effets de positivité en situation conflictuelle (avec des niveaux d'activation susceptibles de favoriser ces effets de positivité). Enfin, les images neutres se caractérisaient par une absence d'émotion induite et étaient de degré d'activation très faible (1.2 ± 0.2). La luminosité et le contraste des images ont été corrigés de manière à ce qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les stimuli de valences différentes.

Chaque essai comprenait 2 images l'une au-dessus de l'autre, écartées de 1cm. Chaque image mesurait 5.5cm de hauteur et 7cm de largeur de façon à obtenir un angle visuel total sur les deux images de 7.5° en hauteur (12cm) et 4.4° en largeur. Ainsi, même lorsque le participant orientait son regard sur une image, l'autre image était encore présente dans son champ de vision.

2.1.3. Protocole expérimental

Le protocole est inspiré d'une étude ayant mis en évidence des effets de positivité avec l'âge sur des visages émotionnels appariés (Goeleven et al., 2010).

Au cours de l'expérience, la tête du participant était maintenue à l'aide d'une mentonnière de façon à ce que le regard reste centré sur le centre de l'écran, lieu de présentation du couple d'images. Les participants ont réalisé deux blocs de 90 essais. Une pause de quelques minutes était prise entre les blocs. Chaque essai était constitué de la présentation de 2 images l'une au-dessus de l'autre. L'une des deux images, appelée « cible », était indiquée par un cadre gris clair de 3 mm d'épaisseur entourant l'image dès l'apparition du couple d'images, l'autre image étant le « distracteur ». L'image cible était de valence négative, positive ou neutre et était appariée systématiquement avec un distracteur d'une autre valence. Le choix de la valence du distracteur était quasi-aléatoire de façon à obtenir autant de couples pour chacune des 6 conditions suivantes (tableau 11) :

Tableau 11 : Tableau des 6 conditions expérimentales et leur nombre d'essais respectifs.

Cible \ Distracteur	Négatif	Positif	Neutre
Négative	X	30	30
Positive	30	X	30
Neutre	30	30	X

Afin de limiter les influences entre les couples, la séquence de présentation des conditions était pseudo-aléatoire et définie de façon à limiter les influences des essais les uns sur les autres, tel que l'ont montré Goeleven et collaborateurs (2010). Deux listes ont été utilisées et contrebalancées entre les participants. La position de la cible (haute ou basse) était quasi-aléatoire afin qu'il y ait autant de position haute que basse pour chaque condition expérimentale. Chaque image était présentée 2 fois, une fois en tant que cible, une fois en tant que distracteur.

A chaque essai, dès la présentation du couple d'images, les participants avaient pour consigne de catégoriser le plus vite possible la « cible » sur la base de leur ressenti émotionnel. Ils devaient ainsi indiquer s'ils avaient ressenti, à la vue de la cible, une émotion de peur pour leur intégrité physique, une émotion de bien-être ou aucune émotion. Chaque essai débutait par une croix de fixation blanche de 750 et 1250ms. Le couple d'images était ensuite présenté jusqu'à ce que le participant réponde, dans une durée maximum de 3000ms. Enfin, un masque noir était présenté ; sa durée était variable et était calculée de façon à ce que l'essai dure 8 s au total (figure 39). Un point blanc sur fond noir d'une durée comprise entre 1500ms et 2000ms séparait les essais afin d'éviter des effets de priming (Goeleven et al., 2010; Smith et al., 2006). Avant la réalisation des deux blocs expérimentaux, les participants ont été familiarisés avec la tâche durant une phase d'entraînement contenant 30 essais différents des essais utilisés pour la phase expérimentale.

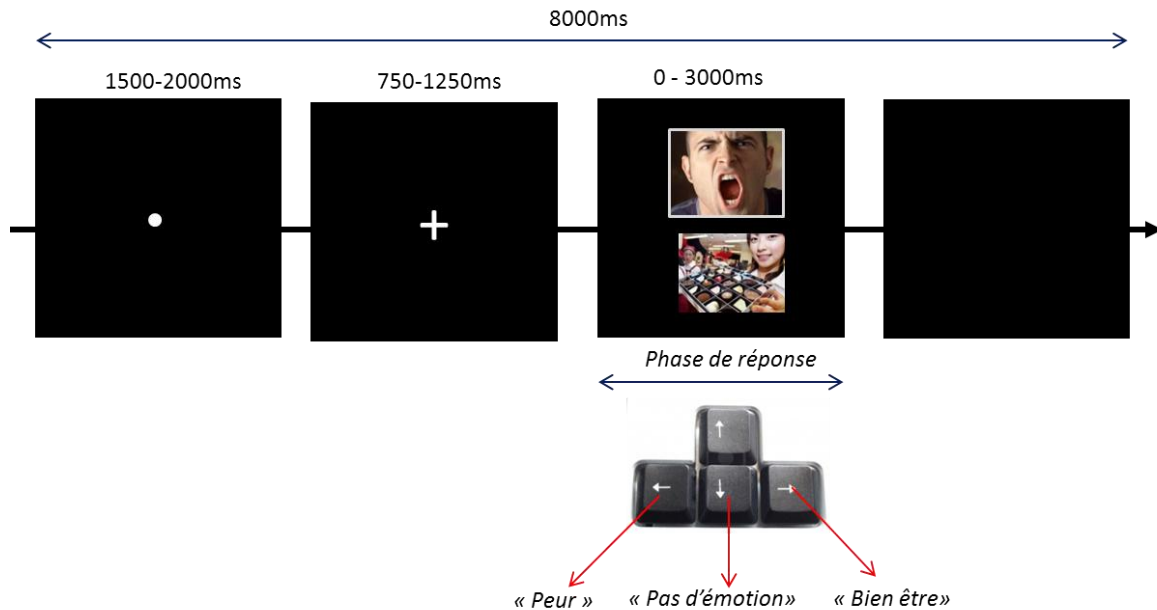


Figure 39: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental.

2.1.4. Traitement des données comportementales et analyses statistiques

Pour chaque participant, le temps de réaction moyen et le taux moyen de réponses correctes ont été mesurés dans chacune des 6 conditions expérimentales. Comme dans les précédentes études, nous avons considéré comme correctes les réponses des participants qui étaient congruentes avec la catégorie du stimulus estimée sur la base du groupe pré-test. Toutes les autres réponses (non congruentes ou erreurs d'appui bouton du clavier) ont été considérées comme des réponses fausses. Les essais sans réponse ont été également considérés comme des erreurs. Seuls les essais pour lesquels les participants ont répondu correctement ont été utilisés pour le calcul et l'analyse statistique des temps de réaction moyens (TRm). Par ailleurs, les réponses données avant 300ms après m'apparition des stimuli et celles dépassant une valeur seuil de 3000ms ont été également exclues de l'analyse.

Les taux de réponses correctes et les temps de réaction moyens ont été évalués chacun à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées avec l'Age des participants (jeunes, âgés) comme facteurs inter-sujets et le Type d'appariement (correspondant aux 6 conditions expérimentales) comme facteur intra-sujets. Dans le cas où la sphéricité des données n'était pas respectée, une correction des degrés de liberté utilisant une méthode de Greenhouse-Geisser a été appliquée. N'ayant pas d'hypothèses particulières quant aux taux de bonnes réponses par valence, un test post-hoc de Tukey nous a permis d'explorer les comparaisons de moyennes des réponses correctes. Afin d'identifier directement l'orientation des biais

attentionnels avec l'âge et isoler les effets de distraction et d'attraction propre à chacune des valences (négative et positive) sur la valence opposée, nous avons évalué les effets de l'âge sur les différences suivantes¹⁵:

- 1) D1 : Conditions « Cible Positive/ Distracteur Négatif » - « Cible Positive / Distracteur Neutre ». Cette différence nous a permis d'évaluer les capacités de distraction de l'image négative par rapport à l'image neutre sur le traitement d'une cible positive avec l'âge.
- 2) D2 : Conditions « Cible Négative/ Distracteur Positif » - « Cible Négative / Distracteur Neutre ». Cette différence nous a permis d'évaluer les capacités de distraction de l'image positive par rapport à l'image neutre sur le traitement d'une cible négative avec l'âge
- 3) D3 : Conditions « Cible Négative / Distracteur Positif » - « Cible Neutre /Distracteur positif ». Cette différence nous a permis d'évaluer les capacités d'attraction de la cible négative par rapport à une cible neutre dans le contexte d'un distracteur positif
- 4) D4 : Conditions « Cible positive/ Distracteur Négatif » - « Cible Neutre /Distracteur Négatif ». Cette différence nous a permis d'évaluer les capacités d'attraction de la cible positive par rapport à une cible neutre dans le contexte d'un distracteur négatif.

Les images neutres ont donc été utilisées comme « référence » ou « condition contrôle ». Afin de faire cette différence, nous avons vérifié statistiquement au préalable que pour chaque âge, l'influence d'un distracteur négatif et positif sur le traitement d'une cible neutre était équivalente et qu'un distracteur neutre avait un effet équivalent sur des cibles positives et négatives.

Dans l'hypothèse d'effets de positivité avec l'âge, les comparaisons planifiées (sur ces différences) nous ont permis ainsi d'évaluer si la vitesse de traitement d'une cible négative était atténuée avec l'âge en présence d'un distracteur positif. Un tel effet suggérerait une atténuation dans la rapidité de traitement des stimuli négatifs avec l'âge en raison i) d'une augmentation du pouvoir distracteur intrinsèque des stimuli positifs sur le traitement des stimuli négatifs (D2) et ii) d'une diminution de l'orientation de l'attention sur une information non pertinente pour les personnes âgées, mais pertinente pour la tâche (D3). Nous avons, par

¹⁵ Evaluer statistiquement un effet de l'âge sur ces différences revient à évaluer les effets de l'âge des comparaisons planifiées sur les conditions mise en jeu dans pour chacune des différences.

ailleurs, évalué si l'attraction d'une cible positive était potentialisée avec l'âge en présence d'un distracteur négatif. Un tel effet suggérerait une facilitation dans la rapidité de traitement des stimuli positifs en raison i) d'une atténuation du pouvoir distracteur intrinsèque des stimuli négatifs sur le traitement des stimuli positifs (D1) et ii) d'une augmentation de l'orientation de l'attention sur une information pertinente pour les personnes âgées et pertinente pour la tâche (D3). En raison de la non-orthogonalité des comparaisons multiples, le seuil de significativité fixé à 0,05 a été corrigé en appliquant une correction de Bonferroni ($\alpha=0.05/4$ soit 0.0125). Dans le cas où la sphéricité des données n'était pas respectée, une correction des degrés de liberté utilisant une méthode de Greenhouse-Geisser a été appliquée. Le seuil de significativité a été fixé à 0.05.

2.2. Résultats

2.2.1. Taux de « réponses correctes »

L'ANOVA réalisée sur les taux de réponses correctes montre aucun effet principal. En revanche, l'interaction Age x Valence est significative ($F(1.3, 67.8) = 11.77, p < .001$).

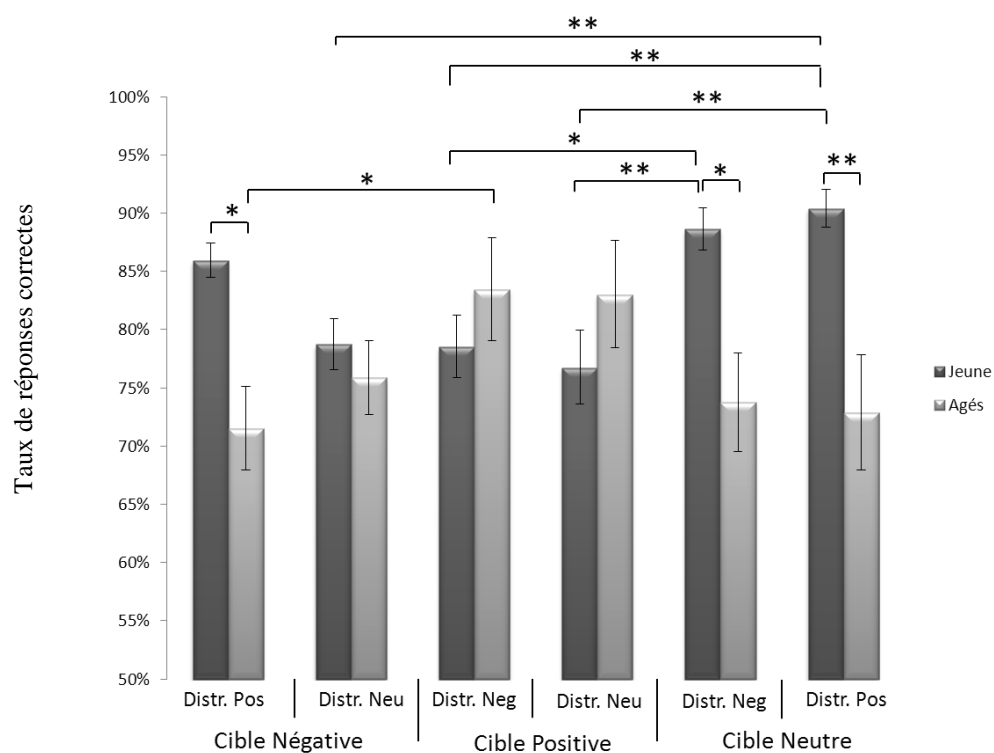


Figure 40: Résultats du test de Tuckey sur les taux de réponses correctes en fonction de la valence de la cible et du distracteur. * = $p < .05$; ** $p < .01$. Barre d'erreur = Erreur standard.

Les comparaisons de moyenne sur le nombre de bonnes réponses avec le test post-hoc de Tukey (figure 40) révèlent que les sujets âgés diffèrent significativement des sujets jeunes pour l'identification des images cibles neutres (que le distracteur soit positif ($p < .01$) ou négatif ($p < .05$) et pour les images cibles négatives associées à un distracteur positif ($p < .05$). Les personnes âgées ont, dans ces conditions, un taux de bonnes réponses inférieur à celui des participants jeunes.

Par ailleurs, chez les sujets jeunes, le nombre de bonnes réponses est meilleur pour les images cibles neutres par rapport aux cibles positives quel que soit le distracteur (tous les $p < .01$) et pour une cible neutre avec un distracteur positif et comparé à une cible négative avec un distracteur neutre ($p < .01$). Les taux de bonnes réponses des personnes âgées pour une cible positive associée sont significativement plus élevés que le taux pour une cible négative associée à un distracteur négatif ($p < .05$).

Afin de comprendre les différences observées entre cibles dans chacun des groupes d'âge, le biais de réponse pour chaque valence a été calculé en effectuant un calcul de z-score sur la base des erreurs d'attribution (tableau 12):

$$z - score (valence) = \frac{M_{valence} - M(global)}{Ecart-type (global)} \text{ avec } M \text{ la moyenne du nombre d'erreurs d'attribution}$$

Tableau 12 : Matrice de confusion des réponses et Z-score des erreurs d'attribution en fonction de la cible à catégoriser.

		Attribution par les sujets jeunes			Attribution par les sujets Agés		
		Négative	Positive	Neutre	Négative	Positive	Neutre
Cible	Négative	x	-0,24	0,40	x	0,10	0,40
	Positive	-0,34	x	0,87	-0,66	x	-0,02
	Neutre	-0,30	-0,28	x	-0,42	0,61	x

Nous avons fait le choix de ne pas utiliser de statistiques inférentielles pour l'analyse des Z-score car ceux-ci ont été réalisés à titre indicatif. De manière descriptive, nous pouvons observer que, chez les sujets jeunes, les biais de réponses les plus élevés sont pour l'attribution des stimuli positifs et négatifs à la catégorie neutre. Pour les sujets âgés, les scores les plus positifs indiquent que les images négatives sont fréquemment évaluées comme

neutres et les images neutres comme positives. Le score le plus bas chez les sujets âgés nous indique que les cibles positives sont rarement évaluées comme négatives.

2.2.2. Temps de réaction

L'ANOVA réalisée sur les temps de réaction révèle un effet principal de l'Age ($F(1, 53) = 54.37, p < .001$), et du Type d'appariement ($F(3.03, 160.7) = 12.44, p < .001$), et une interaction simple Age x Type d'appariement ($F(3.03, 160.7) = 8.4, p < .005$). Le tableau 13 et la figure 41 présente les mesures des temps de réaction ainsi que les comparaisons planifiées défini en 2.4 qui atteste des capacités d'attraction (cible) et de distraction (distracteur) de chaque valence.

Tableau 13: Temps de réaction moyens en ms (et erreurs standards) pour les 6 conditions d'appariement cible/distracteur en fonction de l'âge et scores de différence par contraste d'intérêt. Capacité de distraction de chaque valence par rapport au neutre sur la valence opposée et d'attraction de chaque valence par rapport au neutre en présence d'un distracteur de valence opposée.

Sujets Jeunes

Distracteur Cible	Négatif	Positif	Neutre	D1 : Distraction Négatif / Neutre sur cible positive	D2 : Distraction Positif / Neutre sur cible négative
Négative	x	1320 (40)	1295 (42)	x	25 (17)
Positive	1329 (33)	x	1276 (41)	53 (29)	x
Neutre	1359 (47)	1324 (46)	x		
D3 : Attractivité Négative/Neutre dans contexte positif	x	-3 (32)			
D4 : Attractivité Positive/Neutre dans contexte négatif	-29 (30)	x			

Sujets Agés

Distracteur Cible	Négatif	Positif	Neutre	D1 : Distraction Négatif / Neutre sur cible positive	D2 : Distraction Positif / Neutre sur cible négative
Négative	x	1779 (41)	1703 (45)	x	76 (27)
Positive	1669 (59)	x	1640 (48)	29 (25)	x
Neutre	1834 (57)	1836 (52)	x		
D3 : Attractivité Négative/Neutre dans contexte positif	x	-58 (26)			
D4 : Attractivité Positive/Neutre dans contexte négatif	-164 (38)	x			

L'effet de l'âge est significatif uniquement pour l'effet d'attraction d'une cible positive par rapport à une cible neutre dans le contexte d'un distracteur négatif ($F(1, 53) = 8.04$, $p < .007$). Le gain provoquée par la valence positive de l'image en cible est plus important chez les sujets âgés (-164ms) par rapport aux sujets jeunes (-29ms). Aucun effet de l'âge n'a été observé pour les 3 autres différences c'est-à-dire concernant la distraction d'une image négative (par rapport à neutre) sur le traitement d'une cible positive, la distraction d'une image positive (par rapport à neutre) sur le traitement d'une cible négative (par rapport à neutre) et l'attractivité d'une cible négative en présence d'un distracteur positif.

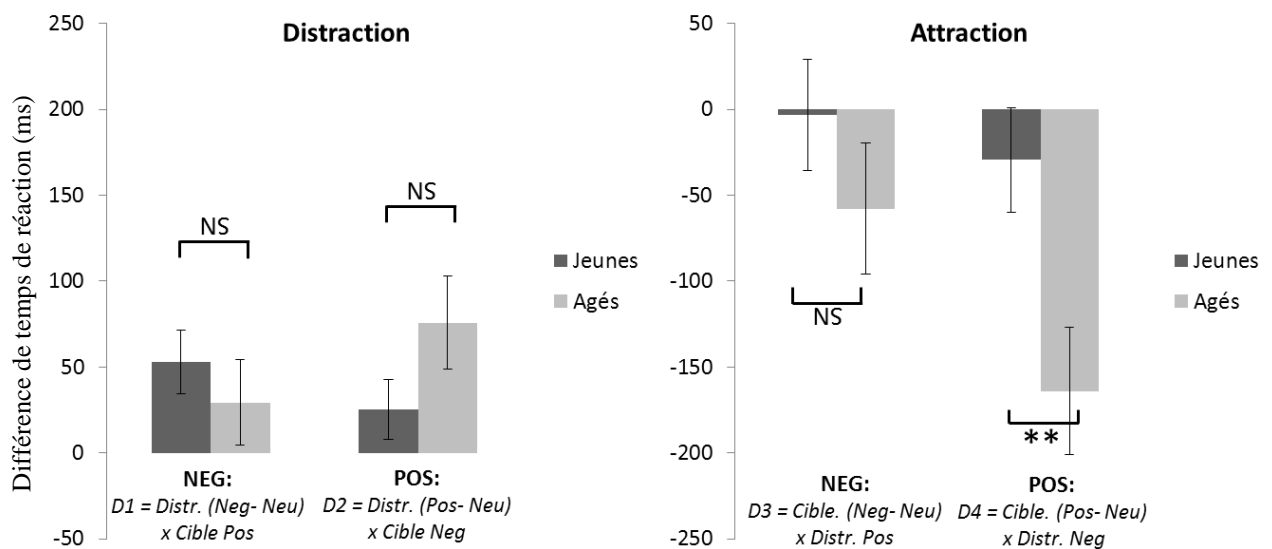


Figure 41 : Distraction et attraction de chacune des valences émotionnelles positives et négatives par rapport aux neutres. Un score positif signifie une facilitation à répondre donc des temps de réponses plus courts alors qu'un score positif signifie qu'il y a un retard de la réponse par rapport à une condition neutre donc une inhibition. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards. Distr. : Distracteur.

2.3. Discussion

Dans cette étude, notre attention s'est particulièrement portée sur l'évolution avec l'âge des biais attentionnels et des capacités à traiter l'information émotionnelle lors d'un paradigme de présentation simultanée de deux stimuli dont l'un était la cible de la tâche émotionnelle explicite à réaliser et l'autre un distracteur pouvant perturber la détection et le traitement du stimulus cible. A travers ce protocole, nous avons essayé de déterminer dans quelle mesure les effets de positivité avec l'âge pouvaient être une source de vulnérabilité pour les personnes âgées en situation conflictuelle opposant une stimulation positive à une stimulation négative.

Indépendamment du distracteur, il a été montré que les participants âgés attribuent plus fréquemment une valence différente aux images cibles négatives et neutres que les jeunes participants; leurs réponses étaient donc moins congruentes avec celles du pré-test (réalisé avec des jeunes personnes). Aucune différence entre les deux groupes d'âge n'a été observée pour les stimuli cibles positifs. Il a été montré, par ailleurs que, les participants jeunes avaient significativement de meilleurs taux de bonnes réponses (congruentes avec les réponses du pré-test) pour les images cibles neutres que pour les images cibles positives et négatives sans distinction. Pour les participants âgés, le meilleur taux était obtenu pour les images cibles positives par rapport aux images cibles neutres et négatives, lesquelles étaient non distinctes. Ces patterns peuvent s'expliquer par la présence d'un biais de réponse différent entre les deux populations, comme en atteste la matrice de confusion des erreurs d'attributions. Nous avons constaté un biais à répondre plus fréquemment « neutre » pour les jeunes participants. Plus précisément, les images cibles aussi bien positives que négatives ont été le plus souvent jugées comme « neutres ». Les participants âgés, quant à eux, ont eu une tendance à juger toutes les images plus positives que le pré-test. Ces différences en termes de jugement ont déjà été observées dans d'autres expérimentations. Streubel et Kunzmann (2011) ont ainsi montré que les images neutres et négatives de faible activation (ce qui est le cas pour notre expérimentation) étaient jugées plus positivement par les participants âgés en comparaison avec les jeunes participants. Ces premiers résultats sur les taux de bonnes réponses suggèrent donc un effet de positivité sur le jugement des images chez les personnes âgées, indépendamment des distracteurs.

L'analyse des temps de réponse pour les images dont la réponse est congruente (correcte) avec la catégorie définie par le pré-test a révélé des patterns différents entre les participants jeunes et âgés, illustrant une évolution des biais attentionnels avec l'âge. Plus spécifiquement, les personnes âgées ont catégorisé plus rapidement que les jeunes les images cibles positives (par rapport aux images neutres) lorsque le distracteur était négatif, suggérant que les personnes âgées sont davantage attirées par les émotions positives et/ou sont moins distraites par des émotions négatives. Ce résultat est très cohérent avec des études réalisées en oculométrie sur les effets de positivité, qui observent une augmentation de la préférence pour les stimuli positifs par rapport aux stimuli négatifs avec l'âge (Isaacowitz, Allard, et al., 2009; Isaacowitz et al., 2006a, 2006b; Murphy & Isaacowitz, 2008). Plusieurs auteurs supposent que ces effets seraient dus à des processus de régulation émotionnelle de type « redéploiement

attentionnel » qui moduleraient l'orientation de l'attention vers les stimuli positifs et/ou négatifs (Opitz et al., 2012), suite à des modifications d'ordre motivationnel chez la personne âgée qui privilégierait son bien-être (Carstensen et al., 1999; Mather & Carstensen, 2005; Mather, 2012; Nashiro et al., 2011).

Toutefois, sur la base des autres résultats que nous avons obtenus, il est à noter qu'une modulation dans la pertinence motivationnelle intrinsèque des stimuli positifs avec l'âge ne semble pas suffisante pour l'observation d'un effet de positivité puisque les émotions positives en tant que distracteurs n'ont pas capturé plus automatiquement l'attention chez les personnes âgées par rapport aux jeunes personnes. Par ailleurs, l'effet de positivité observé ne semble pas non plus être dû à un évitement, ou une modulation dans le traitement et le pouvoir attracteur des scènes négatives puisque nous n'observons pas de différence significative entre les deux populations sur les temps de réponses, que l'image négative soit la cible ou le distracteur. Ce dernier résultat va particulièrement à l'encontre de nos hypothèses et aux données principales de la littérature sur l'orientation du regard. Rappelons que la méta-analyse proposée par Isaacowitz et collaborateurs (2008) sur les études réalisées en oculométrie mettant aussi en jeu des stimuli appariés, ont conclu que les effets de positivité sont principalement dus à un évitement des stimuli négatifs plutôt qu'à une attirance pour les stimuli positifs. Néanmoins, plusieurs différences méthodologiques apparaissent entre ces travaux et notre étude. Toutes les études réalisées en oculométrie ont comparé l'évolution des biais émotionnels avec l'âge sur la base de paires de stimuli composées d'une image émotionnelle (neutre ou positive) et d'une image neutre. Aucune des études n'a opposé un stimulus de valence négative à un stimulus de valence positive, ce qui leur aurait permis d'évaluer l'influence réciproque de l'une sur l'autre comme nous l'avons fait. D'autre part, les études en oculométrie ont utilisé uniquement des tâches de perception passive. Dans notre étude, l'évolution des biais attentionnels avec l'âge a été évaluée lors de la réalisation d'une tâche émotionnelle orientant l'attention volontaire sur le traitement émotionnel des scènes d'intérêt (positives) ou de non intérêt (négatives) pour les personnes âgées de sorte à dissocier l'influence de l'attention « exogène » liée aux propriétés des stimuli de l'attention « endogène » liée au contexte de tâche dans l'apparition des effets de positivité.

Dans le contexte de notre étude, il apparaît que le but de la tâche et l'orientation attentionnelle volontaire induite conditionneraient l'apparition des effets de positivité et la mise en place des processus de régulation émotionnelle associés, comme le suggèrent d'autres études (Knight et al., 2007; Löckenhoff & Carstensen, 2007) et l'étude précédente présentée

dans cette thèse (voir chapitre IX). Plus précisément, nous avons pu constater, dans cette **étude 4**, que l'orientation volontaire de l'attention sur les scènes d'intérêt des personnes âgées (scènes positives) et le processus modulé par l'âge par la tâche (en l'occurrence le ressenti émotionnel) favorisent et sont nécessaires à l'émergence des effets de positivité avec l'âge. Un résultat analogue a été reporté avec des visages comme stimuli dans l'étude de Goeleven et al (2010) dont nous nous sommes inspirés. Autrement dit, les processus relatifs aux effets de positivité avec l'âge agiraient sur les traitements émotionnels en synergie avec les processus attentionnels liés à la tâche à condition que l'objectif de la tâche et la configuration des stimuli rejoignent la motivation d'élévation du niveau de bien-être des individus âgés.

Afin de tester en partie cette hypothèse et valider les résultats obtenus dans l'étude 3, il serait intéressant de répliquer l'expérience en proposant plutôt une tâche de catégorisation centrée sur la tendance à l'action. Sur la base des **études 1** et **3** de cette thèse (Chapitre VII et IX), nous avons fait le choix dans cette étude, d'une tâche de catégorisation émotionnelle de sorte à potentialiser l'observation des effets de positivité. Si nous répliquons l'étude avec une tâche de tendance à l'action, il est probable que nous obtenions une augmentation ou un maintien du biais de négativité pour les sujets âgés (compte tenus des résultats de l'**étude 3**).

3. Expérience en EEG

3.1. Méthodologie

3.1.1. Participants

Quatorze nouveaux participants âgés de 20 à 35 ans (7 hommes, 7 femmes $m=23.9 \pm 1$) et quatorze nouveaux participants âgés de 60 à 85 ans (7 hommes, 7 femmes $m=65.6 \pm 1.5$) ont participé à cette expérience. Les participants ont été sélectionnés suivant la même procédure de recrutement que les études précédentes¹⁶. Tous les participants ont signé un formulaire de consentement et ont reçu une indemnité de 40€ après l'expérience.

¹⁶Tous les participants étaient droitiers, de culture européenne, parlaient couramment le français et étaient de niveau d'éducation équivalent. Ils avaient une vue normale ou corrigée à la normale, n'avaient pas de troubles neurologiques ou neuropsychiatriques, ni de traitements médicamenteux susceptibles de moduler les processus émotionnels (*e.g.*, bêta-bloquant). Chaque volontaire a été soumis aux 3 tests neuropsychologiques utilisés dans les études précédentes pour évaluer sa santé mentale et cognitive, à savoir le Mini Mental State Examination (MMSE), couramment utilisé pour le

3.1.2. Stimuli et protocole

Les stimuli ont été projetés sur fond noir en utilisant le logiciel E-prime (E-prime Psychology Software Tolls Inc., Pittsburgh, USA) et un écran d'ordinateur de 22 pouces placé à 90cm du participant. La tête du participant était maintenue à l'aide d'une mentonnière de façon à ce que le regard reste centré sur le centre de l'écran. Les stimuli utilisés dans ce protocole EEG étaient identiques à l'expérience précédente (60 images négatives, 60 positives et 60 neutres). Le protocole lui-même était quasi-similaire également. Comme précédemment, les participants ont réalisé deux blocs de 90 essais. Chaque essai comprenait 2 images l'une au-dessus de l'autre, écartées de 1cm. Chaque image mesurait 5.5cm de hauteur et 7cm de largeur de façon à obtenir angle visuel total de 7.5° en hauteur (12cm) et 4.4° en largeur. Ces deux images étaient toujours de valence différente; dans des configurations identiques à celles décrites dans l'étude précédente. L'une des deux images, appelée « cible », était indiquée, comme précédemment par un cadre gris clair de 3 mm d'épaisseur entourant l'image à l'apparition du couple d'images, l'autre image était le « distracteur ». Le participant avait pour consigne également de catégoriser la cible sur la base de son ressenti émotionnel (peur, bien-être, pas d'émotion). Toutefois, afin de limiter les artefacts de mouvement sur le signal EEG, les participants devaient, cette fois-ci, répondre le plus vite possible après la disparition du couple d'images (et non dès l'apparition des stimuli); la durée de présentation du couple d'images a été ici fixée à 1500ms (figure 42). Les participants devaient, par ailleurs, limiter les clignements oculaires durant la croix de fixation et la présentation des images.

dépistage des démences séniles, le « Wisconsin Card Test » qui permet de tester les capacités des fonctions exécutives et une échelle de dépression, la version courte du questionnaire de Beck. Chaque participant sélectionné pour l'expérience a obtenu un score minimal de 27 au MMSE pour les sujets âgés et 28 pour les sujets jeunes, avait un score maximum de 4 à la version courte de l'échelle de dépression de Beck et n'a pas fait plus de 12 erreurs à la version courte du « Wisconsin Card Test ».

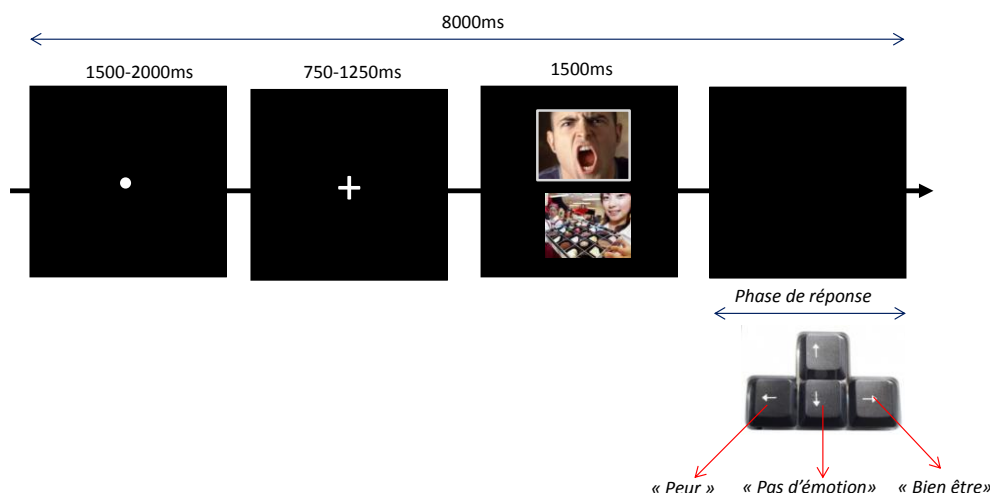


Figure 42: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental.

3.2. Acquisition traitement et Analyse des données

3.2.1. Données comportementales

Pour chaque participant, le temps de réaction moyen (à partir de l'affichage du stimulus) et le taux moyen de bonnes réponses (réponses congruentes avec la catégorie prédéfinie par le pré-test) ont été mesurés et analysés statistiquement dans chacune des 6 conditions expérimentales selon la même procédure décrite précédemment. Une ANOVA à mesures répétées Type d'appariement (6) x Age (2) a été réalisée pour chacune de ces mesures. Les comparaisons de moyennes ont été explorées à l'aide d'un test post-hoc de Tukey. Le seuil de significativité de l'ensemble des analyses statistiques a été fixé à 0.05. Bien que la mesure des temps de réaction soit critiquable compte tenu du décalage temporel de la réponse par rapport au début d'apparition du couple d'images, elle était réalisée ici à titre exploratoire.

3.2.2. Données EEG

Acquisition

L'activité EEG a été enregistrée toute la durée des blocs à l'aide d'un casque Acticap® (Brain Products, Inc.) équipé de 78¹⁷ électrodes d'Ag-AgCl positionnées selon le système 10-

¹⁷ Midline: Fpz, Fz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz, Iz ; Right hemisphere: Fp2, AF4, AF8, F2, F4, F6, F8, F10, FC2, FC4, FC6, FT8, FT10, C2, C4, C6, T8, CP2, CP4, CP6, TP8, TP10, P2, P4, P6, P8, P10, PPO2h, PPO10h, PO4, PO8, PO10, POO10h, O2, OI2h; Left hemisphere: Fp1, AF3, AF7, F1, F3, F5, F7, F9, FC1, FC3, FC5, FT7, FT9, C1, C3, C5, T7, CP1, CP3, CP5, TP7, TP9, P1, P3, P5, P7, P9, PPO1h, PPO9h, PO3, PO7, PO9, POO9h, O1, OI1h.

20 amélioré (Jasper, 1958; Oostenveld & Praamstra, 2001). Les électrodes de référence et de masse utilisées pour l'enregistrement des signaux étaient celles proposées par Acticap®, à savoir, à proximité du vertex (FCz) pour la référence, et à l'avant de la tête (AFz) pour la masse. Les données ont ensuite été re-référencées (hors ligne) à la valeur moyenne des signaux des deux mastoïdes. Les potentiels liés aux clignements et aux mouvements des yeux ont été enregistrés à l'aide de quatre électrodes d'électro-oculographie : deux positionnées sur les commissures externes des yeux pour les mouvements horizontaux et deux au-dessus et en-dessous de l'œil gauche pour les mouvements verticaux et les clignements. De plus, à chaque essai, les participants avaient pour instruction de limiter leurs mouvements oculaires durant toute la durée de la croix de fixation et de présentation de l'image. L'impédance des signaux était située en dessous de 5 k Ω . Les signaux ont été amplifiés en utilisant un système BrainAmp™ (Brain Products, Inc.) et échantillonnés à une fréquence de 1000Hz, avec une résolution de 0.1 μ V et un filtrage analogique passe-bas avec une constante de temps de 10s.

Pré-traitement et traitement des données

Le traitement de données a été réalisé à l'aide du logiciel BrainAnalyzer™. Dans un premier temps, un filtre passe-bas à 30 Hz a été appliqué. Les données ont été ensuite segmentées en période allant de 350 ms avant l'apparition du couple d'image à 1000ms après l'apparition. Chaque segment a été vérifié visuellement et les essais contenant des artefacts de clignements, de mouvements oculaires importants, d'activité musculaire ou non physiologiques ont été rejetés. Les artefacts liés aux mouvements oculaires légers ont été corrigés en utilisant une analyse en composante indépendante (ACI). Les électrodes présentant des artefacts importants probablement dus à des problèmes durant l'acquisition sur au moins un participant ont été retirées des analyses, à savoir Fz, TP9, TP10, AF3, AF4, F1, F2, F6, FT7, FC4, P2, PO8, P9. Les données ont ensuite été corrigées à la ligne de base prise sur la période de 350ms précédant l'apparition du couple d'images. Enfin, afin de mettre en évidence les potentiels évoqués induits par les stimuli cibles, pour chaque participant de chaque groupe d'âge, la moyenne du signal a été calculée¹⁸ à travers les essais sur chaque électrode en fonction de la catégorie émotionnelle de la cible et des deux types de distracteurs

¹⁸ Moyenne sur l'ensemble des essais : CibleNegDistracteur.Pos = J : 21.6 \pm 1.3, A : 17.9 \pm 1 / CibleNegDistr.Neu = J : 24.1 \pm 0.8, A : 18 \pm 1.1 / CiblePosDistrNeg = J : 23.5 \pm 0.8, A : 23.7 \pm 1.2 / CiblePosDistr.Neu = J : 24.5 \pm 0.7, A : 24.4 \pm 0.9 / CibleNeuDistr.Neg = J : 23.7 \pm 0.9, A : 23.4 \pm 0.9 / CibleNeuDistr.Pos = J : 24.2 \pm 0.8, A : 23 \pm 1.1. J = sujets Jeunes, A = sujets Agés.

associés. Seuls les essais pour lesquels le participant avait bien catégorisé la cible ont été considérés pour le calcul de la moyenne.

De manière à extraire les différentes composantes pertinentes (justifiant la variance de nos données) présentes dans nos signaux EEG et les plages temporelles correspondantes, les données ont été soumises à une Analyse en Composante Principale temporelle (tACP) (Pourtois, Delplanque, Michel, & Vuilleumier, 2008; Spencer, Dien, & Donchin, 2001). Cette technique est particulièrement utile pour synthétiser des données et ne conserver que celles contenant de l'information discriminante. Plusieurs études ont déjà utilisé cette technique et démontré son efficacité dans le cadre de l'étude de signaux EEG synchrones (Bailey, West, & Anderson, 2011; Carretie, 2004; D'Hondt et al., 2010; Delplanque, Silvert, Hot, & Sequeira, 2005; Hot, Saito, Mandai, Kobayashi, & Sequeira, 2006; Rigoulot et al., 2008; Smith et al., 2006). La tACP a été effectuée sur la base des segments de 1000 points temporels (0 à 1000ms après présentation des stimuli à un taux d'échantillonnage de 1000Hz) des signaux moyens de chaque participant dans chaque condition expérimentale à l'aide du logiciel Statistica 10. Les signaux des 6 conditions des 78 électrodes des 28 participants ont constitué nos observations (13104 au total). Une rotation « varimax » des groupes de points hautement corrélés extraits avec la tACP a permis d'identifier les combinaisons linéaires des facteurs temporels (FT) (Pourtois et al., 2008). Enfin, les plages temporelles des composantes ont été déterminées à partir des coefficients de corrélation FT-variables en prenant les plus élevés et en fixant un seuil à 0.7.

La figure 43 montre les résultats de la tACP pour tous les facteurs justifiant plus de 5 % de la variance totale. Sur la base de la littérature et des plages temporelles où le facteur contribue le plus à la variance totale, nous avons identifié le facteur TF5 représentant 7% de la variance comme étant l'onde P2, le facteur TF1 (12.5 % de la variance) comme l'onde N2 et le facteur TF4 justifiant la plus grosse part de la variance (15%) comme l'onde LPP. La figure 44 montre une identification visuelle des composantes P2 et N2.

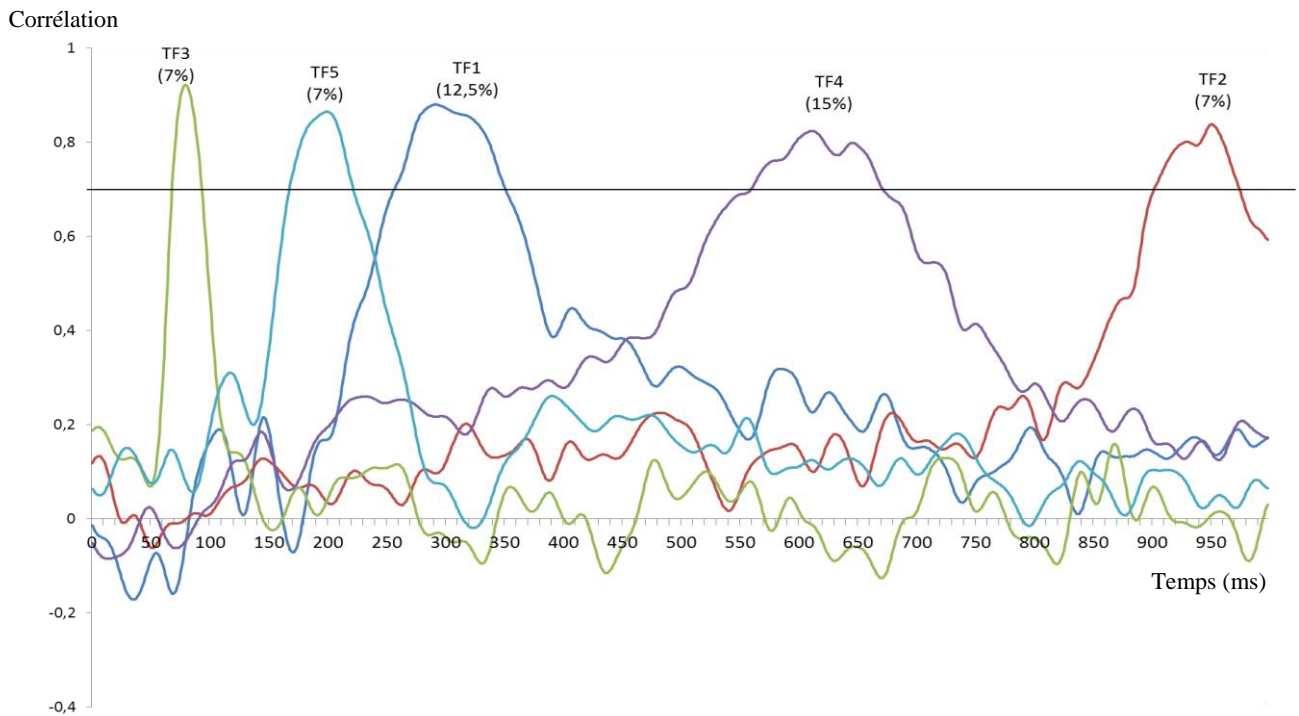


Figure 43 : Résultats de l'ACP. Facteurs, proportion de variance expliquée, et corrélation des instants temporels en fonction du temps.

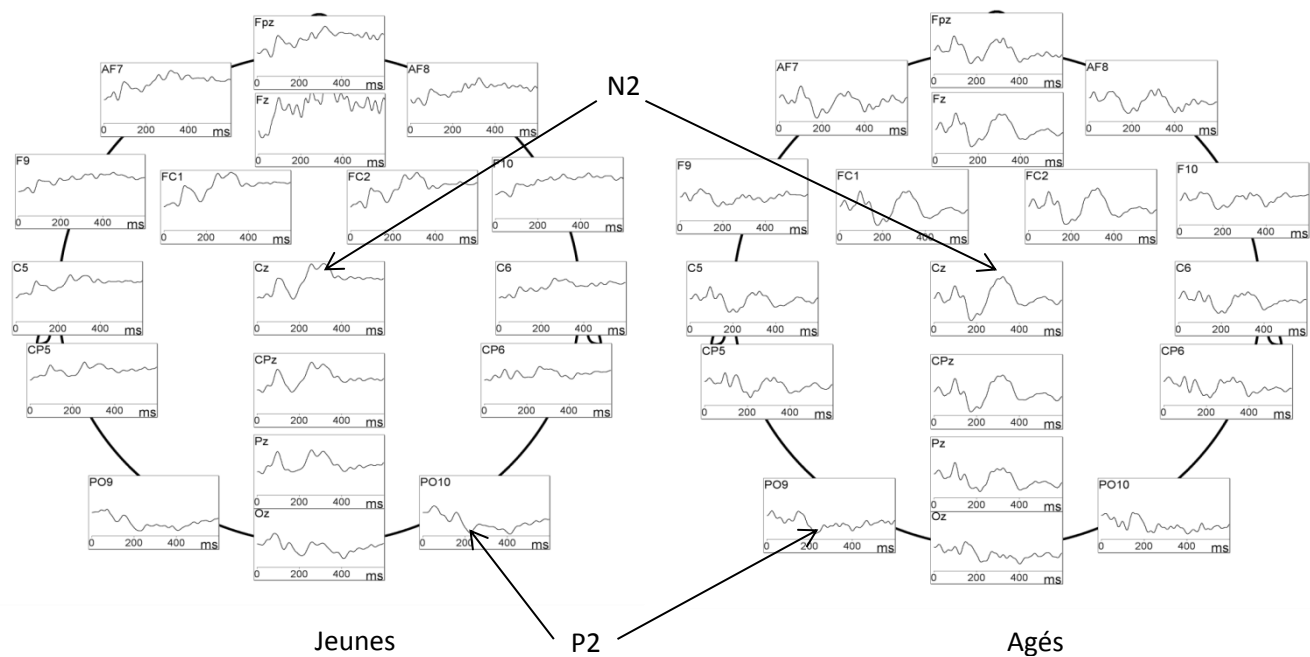


Figure 44: Topographie et visualisation des potentiels évoqués moyens pour la condition « Cible Négative Distracteur Positif » pour les 500ms suivant l'apparition du stimulus avec identification des ondes P2 et N2.

Puis, pour chacune des plages temporelles (composantes) extraites, une ACP spatiale a été réalisée dans le but d'extraire les groupes d'électrodes fortement corrélées entre elles et sous-tendues par un facteur commun (Bailey et al., 2011; Carretie, 2004; D'Hondt et al., 2010; Delplanque et al., 2005; Hot et al., 2006; Rigoulot et al., 2008; Smith et al., 2006). Pour cela, les électrodes ont été utilisées en tant que variables, et les conditions expérimentales x les participants x les instants temporels en observations. Ainsi, nous avons pu sélectionner les électrodes expliquant le plus de variance de la composante. Le seuil de corrélation était variable en fonction des composantes allant de 0.9 à 0.85 de façon à conserver une dizaine d'électrodes.

Onde P2

L'ACP réalisée sur la plage 170-223 ms correspondant à l'onde P2 a révélé deux facteurs spatiaux principaux (le seuil de corrélation a été limité à 0.9):

- un facteur centro-pariétal comprenant les électrodes FCz, FC1/FC2, FC3, Cz, C1, C3/C4/, C6, CPz, CP1/CP2 et, CP3/CP4, et expliquant 35.4% de la variance

- un facteur occipital et pariéto-occipital comprenant les électrodes Iz, O11h/O12h, O1/O2, POO9h/POO10h, PPO9h et PO7 et expliquant 18.7% de la variance.

Onde N2 :

L'ACP réalisée sur la plage 258-351 ms correspondant à l'onde N2 a révélé deux facteurs spatiaux principaux (le seuil de corrélation a été limité à 0.9):

- un facteur frontal et fronto-central s'étendant jusqu'à des zones fronto- pariétale comprenant les électrodes Fp2, AF3/AF4, AF8, F3/F4, F5, F7, FC5, FC3, FC1/FC2 et FPz, et expliquant 35.7% de la variance

- un facteur occipital et pariéto-occipital comprenant les électrodes Iz, O11h/O12h, O1/O2, PO7, PPO9h, , PO10 et POO10h et expliquant 23.5% de la variance.

Onde LPP :

L'ACP réalisée sur la plage 568-651 ms correspondant à l'onde LPP a révélé deux facteurs spatiaux principaux (le seuil de corrélation a été limité à 0.85):

-un premier facteur au niveau des zones occipitale et pariéto-occipitale, expliquant 20.44% de la variance et comprenant les électrodes Iz, Oz, O11h/O12h, O1/O2, POO9h/POO10h, PO7, PO10 et PPO10h.

-un facteur fronto-central et pariéto-central comprenant les électrodes FCz, FC1/FC2, FC3, Cz, C1, C3, CPz, CP1/CP2, CP3, et Pz expliquant 18.7% de la variance.

Analyse des Données neurophysiologiques

L'amplitude du pic des composantes P2 et N2 a été identifiée avec une méthode automatique au sein de leurs plages temporelles respectives définie par l'APCt. Une moyenne de ces amplitudes de pic a ensuite été effectuée sur chacun des groupes d'électrodes mis en évidence par l'ACPs spécifique à chacune des composantes (2 valeurs correspondants à deux groupes pour chacune des composantes). L'onde LPP présentant un patron de variation d'amplitude plus étendu, nous avons extrait la moyenne de la valeur de l'amplitude sur la plage temporelle allant de 568ms à 651ms et sur les 2 groupes d'électrodes identifiés par l'ACPs séparément. Sur les valeurs obtenues, pour chacune des composantes et pour chaque groupe d'électrodes, une ANOVA à mesures répétées a été réalisée avec l'Age (jeunes, âgés) comme facteur inter-sujets et le Type d'appariement (6) comme facteur intra-sujets. Dans le cas où la sphéricité des données n'était pas respectée, une correction des degrés de liberté utilisant une méthode de Greenhouse-Geisser a été appliquée. Les comparaisons de moyennes ont été explorées à l'aide du test Post-Hoc de Tuckey. Pour toutes les analyses statistiques, le seuil de significativité a été fixé à 0.05.

3.3. Résultats

Données comportementales

Concernant les taux de bonnes réponses (tableau 14), l'ANOVA révèle un effet principal de l'Age ($F(1, 26) = 8.26, p < .01$), du Type d'appariement ($F(3.10, 80.77) = 12.67, p < .001$) et un effet d'interaction entre le Type d'appariement et l'Age ($F(3.10, 80.77) = 3.7, p < .014$). Un test post-hoc de Tuckey montre que lorsque la cible est négative, quel que soit le distracteur, les performances de catégorisation sont plus faibles que pour les autres conditions chez les sujets âgés et comparativement à l'ensemble des conditions chez les jeunes ($p < .01$ pour toutes les comparaisons).

L'ANOVA effectuée sur les temps de réponse montre seulement un effet du Type d'appariement ($F(3.43, 89.1) = 7.04, p < .001$). Le test post-hoc de Tukey révèle que lorsque la cible est positive indépendamment du distracteur, le participant répond plus rapidement que pour les autres conditions et ce, quel que soit l'âge des participants ($p < 0.05$ pour toutes les comparaisons).

Tableau 14 : Taux de congruence des réponses et temps de réponse moyen en ms (et erreurs standards) pour chaque type d'appariement et groupe d'âge.

	Cible	Négative	Négative	Positive	Positive	Neutre	Neutre
	Distracteur	Positif	Neutre	Négative	Neutre	Négative	Positive
Taux de réponses correctes	Jeunes	76,7 (4,1)	83,6 (2,8)	84,5 (3,1)	87,4 (2,6)	85,5 (2,7)	86,9 (2,9)
	Agés	64,4 (3,8)	64,3 (3,5)	81,8 (3,4)	84,6 (2,3)	84 (2,6)	82,1 (2,6)
Temps de réponse	Jeunes	2424 (112)	2388 (80)	2339 (78)	2301 (85)	2480 (96)	2423 (86)
	Agés	2316 (70)	2301(68)	2164 (87)	2191 (67)	2293 (94)	2282 (100)

Données neurophysiologiques

Les tests statistiques sur l'amplitude du pic de l'onde P2 au niveau des électrodes centrales et fronto-centrales révèlent un effet de l'Age ($F(1, 26) = 21.74, p < .001$) et un effet tendanciellement significatif du Type d'appariement ($F(5, 130) = 2.27, p < .064$). Aucun effet d'interaction n'est observé. L'analyse des comparaisons de moyennes montre que l'amplitude de l'onde est plus importante pour les individus âgés ($6.7\mu V \pm 1.16$) que pour les individus jeunes (0.68 ± 0.64). Au niveau des électrodes occipitales et pariéto-occipitales, aucun effet de l'Age n'est relevé ($F(1, 26) = 2.74, NS$). Seul un effet tendanciel du Type d'appariement est observé ($F(5, 130) = 2,06 p < .075$) (figure 45). Dans un but exploratoire, le contraste des conditions où la cible est positive (quel que soit le distracteur) avec toutes les conditions des autres cibles a permis de révéler une différence significative ($F(1, 26) = 4.94, p < .04$). Plus spécifiquement, l'amplitude pour les cibles positives ($4.26\mu V \pm 2.3$) apparaît plus faible que pour les autres cibles ($5.21\mu V \pm 2.5$).

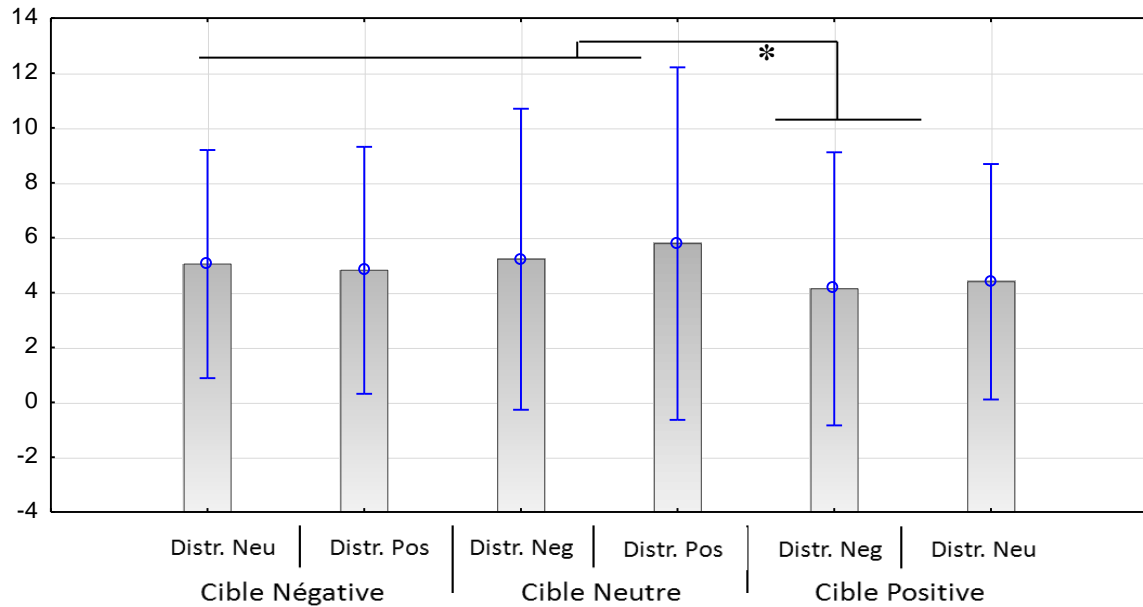


Figure 45: Amplitude de l'onde P2 sur des électrodes occipitales en fonction du type d'appariement. C = Cible ; D = Distracteur. Neg = Négative, Pos = Positive, Neu = Neutre.

L'ANOVA à mesures répétées sur l'amplitude du pic de l'onde N2 au niveau des électrodes fronto-centrales ne révèle aucun effet principal ou d'interaction tout comme celle au niveau des électrodes pariéto-occipitales.

L'ANOVA sur l'amplitude moyenne de l'onde LPP sur les électrodes pariéto-occipitales ne montre aucun effet. Les tests statistiques au niveau des électrodes centrales et pariétales montrent un effet de l'Age ($F(1, 26) = 18.06, p < .001$). L'amplitude de l'onde est plus importante pour les individus âgés ($1.56\mu V \pm 1$) que pour les individus jeunes (-2.08 ± 0.9). L'interaction Age x Type d'appariement n'est pas significative ($F(1, 26) = 1.77, p < 0.13$). A titre exploratoire, une ANOVA à mesures répétées a été effectuée sur les valeurs recueillies pour l'électrode Pz uniquement, puisque les **études 1** et **2** ont révélé des effets d'interaction entre l'âge et la valence pour cette électrode relative à la LPP. Seul un effet de l'âge apparaît significatif ($F(1, 26) = 10.24, p < .004$), avec une moyenne d'amplitude des sujets âgés plus importante ($2.52\mu V \pm 0.8$) que celle des sujets jeunes ($-0.05\mu V \pm 0.7$). Contrairement à nos attentes, l'effet d'interaction entre Age et Type d'appariement n'est pas significatif ($F(1, 26) = 1.55, p = 0.18$).

3.4. Discussion

L'objectif de cette étude était de déterminer le décours temporel des effets de positivité liés à l'âge dans le cadre du paradigme de présentation simultanée de deux stimuli, utilisé dans l'étude 4 comportementale, dans lequel l'un des deux stimuli était la cible de la tâche émotionnelle explicite réalisée et l'autre un distracteur pouvant perturber la détection et le traitement du stimulus cible.

Indépendamment du distracteur, l'analyse des réponses données par les participants a montré que les personnes âgées attribuaient plus fréquemment une valence différente aux images cibles négatives que les jeunes participants, conformément à l'étude précédente. Aucune différence entre les deux groupes d'âge n'a été observée pour les stimuli cibles positifs et neutres. Il a été montré, par ailleurs que, le meilleur taux de réponses correctes obtenu par les personnes âgées était pour les stimuli positifs et neutres. Aucune distinction de valence n'a été observée pour les jeunes participants. Ces résultats sur les taux de réponses correctes pourraient être le reflet d'effets de positivité au niveau de l'évaluation des situations émotionnelles. Quelques études ont déjà montré une tendance des personnes âgées à voir les images négatives faiblement activatrices, telles que ceux que nous utilisons, comme plus positives ou tout du moins plus neutres (Streubel & Kunzmann, 2011).

L'analyse des temps de réaction, en revanche, n'a révélé aucun effet de l'âge. Seul un effet de la valence de la cible a été observé. Plus spécifiquement, les deux groupes de participants ont répondu plus rapidement lorsque la cible était positive que lorsque celle-ci était neutre ou négative, indépendamment de la valence du distracteur. Ce résultat est quelque peu surprenant non pas en ce qui concerne les personnes âgées dont ce résultat peut être le reflet d'effets de positivité mais plutôt pour les sujets jeunes. Ces derniers, en effet, présentent habituellement dans la littérature un biais de négativité (Baumeister et al., 2001; Ito et al., 1998; Paul Rozin & Royzman, 2001) ou au minimum un biais émotionnel pour le genre de paradigme utilisé ici de type « détection de cible » (Eastwood, Smilek, & Merikle, 2001; Ohman, Flykt, & Esteves, 2001 ; Anderson, 2005; Andreas Keil & Ihssen, 2004) (voir Chapitre II). Chez les jeunes, des temps de réponse plus rapides étaient donc plutôt attendus pour les stimuli négatifs par rapport aux autres stimuli ou pour les stimuli négatifs et positifs par rapport aux stimuli neutres et non pour les positifs par rapport aux autres stimuli.

Cette distinction des stimuli positifs par rapport aux autres stimuli observée au niveau comportemental, quel que soit l'âge, est confortée au niveau des potentiels évoqués, particulièrement au niveau de la composante P2. Une amplitude plus faible de l'onde P2 au niveau occipitale et pariéto-occipitale a été ainsi notée pour les cibles positives comparativement aux cibles neutres et négatives, quel que soit l'âge des participants. Une augmentation globale de la P2 au niveau des régions centrales et fronto-centrales a, par ailleurs, été observée chez les personnes âgées. Des effets liés aux propriétés émotionnelles des stimuli ont été couramment décrits pour cette onde P2 et se traduisent par une onde plus ample pour les stimuli émotionnels que pour les stimuli non-émotionnels (voir chapitre II, Olofsson et al., 2008), contrairement à nos résultats. Toutefois, il est connu aussi que l'onde P2 est caractéristique de processus d'attention sélective et est aussi sensible à des facteurs endogènes (*e.g.*, but de la tâche; Eimer et al., 2001; Gherri & Eimer, 2010; Kanske et al., 2011). Ainsi, plus la tâche demande de ressources attentionnelles plus son amplitude augmente (Gherri & Eimer, 2010; Kirmizi-Alsan et al., 2006) comme par exemple dans le cas d'une tâche d'attention divisée comparativement à une tâche d'attention non divisée ou encore entre une tâche où il faut ignorer le stimulus par rapport à une tâche où il faut se focaliser dessus (Toffanin, Jong, Johnson, & Martens, 2009). Dans notre étude, nous avons relevé, dans les deux groupes d'âge, une plus faible amplitude de l'onde P2 pour les cibles positives par rapport aux autres cibles, quel que soit le distracteur, ce qui signifierait que l'engagement attentionnel pour ces conditions serait plus faible dans le sens où la détection de ce type de stimulus demanderait moins de ressources attentionnelles que les autres ou serait moins perturbée par la présence de distracteur. Cette interprétation apparaît concordante avec les temps de réponses plus faibles observés pour ces conditions, reflétant une facilité à détecter et catégoriser les images positives.

Globalement, ces résultats bien que cohérents restent surprenants et diffèrent des résultats de l'étude comportementale réalisée sur la base d'un paradigme quasi-équivalent. L'absence de réplication des résultats de l'étude comportementale dans l'étude EEG serait possiblement liée aux ajustements méthodologiques réalisés sur le protocole comportemental initial pour s'adapter à la mesure EEG. En effet, dans cette étude en EEG, les participants devaient toujours catégoriser le plus vite possible les images mais seulement à partir de la disparition des stimuli, soit 1500ms après l'apparition des images. Inconsciemment, les participants ont peut-être modifié leur stratégie de traitement des paires de stimuli pour profiter au mieux de ces 1500ms qui leur étaient attribuées et répondre le plus vite possible après ces 1500ms.

D'autres facteurs sont susceptibles d'expliquer le peu d'effets observés dans cette étude EEG par rapport à l'étude précédente. Le nombre restreint de participants est un de ces facteurs. Dans cette étude EEG, 28 participants ont été inclus contre 55 dans l'étude comportementale précédente. Un test de puissance réalisé avec le logiciel libre G-power (Cunningham & Gardner, 2007; Erdfelder, Faul, & Buchner, 1996) sur la base des tailles d'effets observés dans notre étude, indique que 48 participants seraient nécessaires pour observer une interaction significative entre l'âge et les type d'appariement au niveau de l'amplitude de l'onde LPP sur la région pariétale ($\eta^2=0.064$) pour une puissance de 0.8. Le nombre d'essais considéré pour extraire les potentiels évoqués était peut être également insuffisant compte tenu de l'étendu de la variance possible dans ce type de tâche à travers les essais et entre les individus ; il n'a peut-être pas permis d'avoir un rapport signal sur bruit suffisamment élevé. Il peut être supposé que la configuration de la tâche ainsi que le nombre de conditions testé ont peut-être complexifié la tâche et modulé les effets. Enfin, la méthode d'analyse des composantes (moyenne sur corpus d'électrodes sélectionnées sur la base de l'ACPs pour chacune des composantes) a probablement aussi contribué à atténuer les effets. Nous ne pouvons pas vraiment conclure quant aux effets observés sur les personnes âgées en termes d'effets de positivité puisque la seule différence observée entre les deux groupes se situe au niveau de la catégorisation des stimuli. Des études et analyses complémentaires doivent être menées pour mieux comprendre l'ensemble de ces résultats.

5. Conclusion

La partie comportementale de cette expérience concernant les traitements de cibles de différentes valences sous l'influence de distracteurs émotionnels a révélé une facilitation pour les personnes âgées à catégoriser une cible positive lorsque le distracteur était négatif. Le traitement d'une cible négative ainsi que l'influence d'un distracteur négatif et positif sont comparables entre les groupes. Il semblerait, par conséquent, que les processus relatifs aux effets de positivité ne facilitent les traitements que lorsqu'ils rejoignent le but de la tâche.

Ces effets sur les temps de réaction n'ont pas été reproduits dans la déclinaison en EEG de l'expérience comportementale précédente et aucun effet de l'âge en fonction de nos conditions expérimentales n'a été soulevé au niveau des composantes.

Discussion Générale

Discussion générale et perspectives

Rappel des objectifs :

Le but de ce travail de thèse était d'étudier l'évolution des traitements émotionnels au cours du vieillissement « sain » et d'évaluer dans quelle mesure les modifications avec l'âge pourraient être une source de vulnérabilité pour les personnes âgées. Plusieurs études observent une augmentation de la préférence pour les stimuli positifs par rapport aux stimuli négatifs avec l'âge dans divers processus cognitifs en lien avec les émotions (*e.g.*, mémoire, prise de décision, attention). Ces changements avec l'âge conduisant à une préférence plus importante pour les stimuli positifs sont appelés « effets de positivité » (Kennedy et al., 2004). D'autres études mettent en évidence que ces effets de positivité sont plutôt dus à des modifications liées à l'âge dans les traitements des stimuli négatifs plutôt que dans ceux des stimuli positifs. Cependant, si les stimuli négatifs attirent moins l'attention au privilège des stimuli positifs, nous pouvons alors nous demander si ces évolutions avec l'âge ne pourraient pas conduire à une plus grande vulnérabilité des personnes âgées dans le sens où elles pourraient ne pas détecter ou identifier rapidement des situations dangereuses. Nous définissons, toutefois, cette vulnérabilité comme relative et donc dépendante de la situation à laquelle on se réfère. En effet, les changements dans les traitements émotionnels permettraient un maintien du sentiment de bien-être des personnes âgées et les protégeraient ainsi de la dépression (Isaacowitz, Toner, et al., 2009; Urry & Gross, 2010). Dans ces conditions, les effets de positivité ne constitueraient pas une source de vulnérabilité pour les personnes âgées. Par ailleurs, l'émergence de ces effets de positivité dépendrait aussi bien de différents facteurs intrinsèques qu'extrinsèques aux stimuli, que nous avons essayé d'identifier lors de ce travail. Pour enrichir notre compréhension et évaluer les modulations dans les traitements émotionnels survenant au cours du vieillissement, les études présentées dans cette thèse ont eu pour objectif de les caractériser au niveau cérébral. Parallèlement à ces recherches, des travaux ont été menés sur la détection d'états émotionnels à partir des signaux électroencéphalographiques. L'exploration de ce domaine était motivée par l'idée qu'une interface cerveau-machine pourrait être élaborée pour protéger les personnes âgées lorsqu'elle ne porte pas attention à des informations négatives capitales pour leur survie du fait de modulations dans les traitements émotionnels de ce type de stimuli avec l'âge.

Dans un premier temps, ce chapitre rappellera les principaux résultats obtenus dans nos différentes études que nous confronteront ensuite aux différents modèles de vieillissement émotionnel proposés par la littérature. Nous élargirons cette discussion vers les théories émotionnelles et proposerons un nouveau point de vue sur les modulations dans les traitements émotionnels au cours du vieillissement « sain » et sur les processus de régulation émotionnelle. Dans une deuxième partie, l'hypothèse d'une vulnérabilité des personnes âgées due à un traitement différentiel avec l'âge de l'information émotionnelle particulièrement dans le contexte de situations menaçantes sera discutée. Dans cette réponse sera abordée la question de la mise en œuvre d'une ICM basée sur l'activité cérébrale relative aux processus émotionnels pour compenser une vulnérabilité potentielle. Finalement, après avoir soulevé les limites de nos travaux, de nouvelles perspectives de recherche seront proposées.

1. Modulation dans les traitements émotionnels avec l'âge

1.1. Principaux résultats des études

Dans l'**étude 1**, afin d'enrichir la compréhension des conditions d'émergence des effets de positivité et pour une meilleure prédiction des situations dans lesquelles les personnes âgées seraient susceptible d'être vulnérables, nous avons manipulé les niveaux d'activation des stimuli négatifs et déterminé dans quelle mesure ils pouvaient influencer contextuellement le traitement des stimuli neutres et positifs selon leur niveau d'activation. Pour cela l'étude a été réalisée en EEG, et les effets de positivité évalués au niveau de l'onde LPP, indicateur de l'engagement attentionnel et motivationnel de l'individu (De Cesarei & Codispoti, 2011; Ferrari et al., 2008; Hajcak et al., 2010). Dans cette **étude 1**, nous avons observé une réduction de l'impact des stimuli négatifs sur l'engagement attentionnel chez les personnes âgées et ce, quel que soit leur niveau d'activation. De plus, il apparaît, que le traitement des stimuli positifs ne serait pas modulé par l'âge quel que soit le contexte affectif créé par les stimuli négatifs. Ces deux résultats mis ensemble, conduisent à observer une réduction avec l'âge du biais de négativité entre stimuli positifs et négatifs de basse activation telle que le supposent plusieurs études (Kensinger, 2008; Mather & Knight, 2006; Wurm et al., 2004). Les participants âgés tendent à privilégier un biais émotionnel avec une possible modulation des stimuli neutres. Avec cette **étude 1**, nous confortons l'idée que les effets liés à l'âge sont principalement dus à une dévaluation des stimuli négatifs au cours du vieillissement (Cacioppo et al., 2011; Murphy & Isaacowitz, 2008; Nashiro et al., 2011) et n'impliquent pas nécessairement une augmentation de la préférence pour les émotions positives. Toutefois,

plusieurs études (Kensinger, 2008; Mather & Knight, 2006; Wurm et al., 2004) suggéraient un maintien de l'impact attentionnel des stimuli de haute activation que nous n'appuyons pas pour les stimuli menaçants puisque nous observons une diminution avec l'âge de l'engagement attentionnel qu'ils provoquent. Par ailleurs, nos stimuli négatifs étant principalement menaçants, un confondu existe entre degré de pertinence des stimuli et niveau d'activation. Ainsi, notre étude suggère que même des stimuli (à priori) de haute pertinence pour la survie peuvent être impactés par l'âge complétant les résultats de Streubel et Kunzmann (2011) qui avait trouvé le contraire pour des images provoquant la colère et la tristesse.

Dans l'**étude 2**, nous avons évalué la possibilité de détecter un état émotionnel à partir de signaux neuronaux pour l'envisager dans l'élaboration d'une ICM permettant de prévenir des effets de positivité dans les situations pouvant conduire à une plus grande vulnérabilité. Une nouvelle méthodologie a été proposée dans le but de pouvoir classer de façon binaire des états émotionnels induits par des stimuli émotionnels sur la base des signaux neuronaux. Cette méthodologie découle des méthodes de classification proposée dans l'élaboration des « P300 spellers » (Rivet et al., 2011, 2009). Cette méthodologie consiste à créer des filtres spatiaux permettant de maximiser la différence entre les classes tout en réduisant la quantité de données puis à appliquer un filtre temporelle basé sur les périodes, elles aussi les plus discriminantes entre classes. Nous avons appliqué notre méthode sur les signaux neuronaux de l'**étude 1**. D'un côté, nous avons montré la validité des algorithmes permettant d'extraire les informations les plus discriminantes (qui peuvent être vues comme des marqueurs du traitement émotionnel) en comparant avec la littérature concernant l'étude des traitements émotionnels. De l'autre, nous obtenons de très bons résultats de classification d'états émotionnels quand il s'agissait d'opposer des signaux relatifs à des stimuli émotionnellement différents en termes d'activation mais moins bons quand il s'agissait de classer selon la valence des stimuli. Pour les sujets jeunes, un score de 70 % de bonnes classifications est obtenu quand il s'agit de déterminer si une image négative de haute activation vient d'être perçue ou si c'était une image neutre et un score de 82.2 % pour déterminer entre deux niveaux d'activation d'images négatives. Dans cette dernière configuration, un taux maximal de 100% est d'ailleurs obtenu pour certains sujets. Notre méthodologie présente de nombreux atouts : i) la décision peut être prise sur la base d'1 seconde après apparition des stimuli ce qui est plus rapide que l'ensemble des algorithmes développés sur la détection d'états émotionnels dans la littérature ; ii) elle est simple à mettre en œuvre et son coût calculatoire

pour un ordinateur est faible. Dans la perspective à long terme de pouvoir proposer des interfaces-cerveaux machine à destination d'un public âgé, le deuxième objectif était d'évaluer dans quelle mesure l'âge pouvait impacter les performances du classifieur. Avec la même méthodologie que celle appliquée pour les sujets jeunes, une légère baisse des performances a été rapportée, n'excédant pas 4 %. Des très bons scores ont été obtenus pour certains sujets supérieurs à 90% de bonnes classifications.

L'objectif de l'**étude 3** était à nouveau de mieux comprendre les conditions d'émergence des effets de positivité pour approfondir notre hypothèse de vulnérabilité. Dans cette seconde étude en EEG, utilisant le même paradigme que l'**étude 1**, nous avons manipulé la motivation des sujets en proposant une tâche de catégorisation selon la tendance à l'action ressentie et non selon l'émotion. Nous avons proposé ce type de tâche pour augmenter le degré d'écologie de l'étude et placer l'action au centre des processus émotionnels, une émotion étant un signal permettant à l'individu de s'adapter à son environnement. Nous observons un maintien du biais de négativité entre participants jeunes et âgés indépendamment du niveau d'activation des stimuli négatifs et une absence de différence entre stimuli positifs et neutres chez les sujets âgés. Bien que plusieurs études ont déjà montré un impact de la tâche sur l'émergence des effets de positivité (Emery & Hess, 2008; Knight et al., 2007; Löckenhoff & Carstensen, 2007), ces résultats peuvent être surprenants. En effet, la tâche peut être vue comme une tâche de prise de décision (avancer ou reculer). Or, des études évaluant l'impact du vieillissement sur la prise de décision montrent que les personnes âgées effectuent leur choix sur la base d'une attirance vers les options positives alors que les personnes jeunes cherchent à éviter les options négatives (Denburg et al., 2006; Löckenhoff & Carstensen, 2008). Dans cette **étude 3**, nous observons une préservation de la prévalence des stimuli négatifs sur les stimuli positifs. Néanmoins, des études sur les capacités d'apprentissage des personnes âgées montrent que celles-ci sont plus fortement impactées par les feedback négatifs que positifs comparativement aux personnes jeunes (pour revue voir Eppinger & Kray, 2011). Ces études sont importantes dans la compréhension de nos résultats puisqu'elles nous indiquent que lorsqu'un choix implique des conséquences, le biais de négativité est renforcé chez la personne âgée, ce qui pourrait être le cas dans notre tâche. Nos stimuli étant menaçants, se tromper dans le choix d'approcher ou de s'éloigner pourrait avoir des conséquences (virtuelles) dramatiques sur l'intégrité de l'individu. Ces conséquences seraient d'autant plus dramatiques que les personnes âgées ont des capacités (physiques) à faire face amoindries. Les stimuli négatifs seraient évalués différemment par les personnes âgées en fonction de cette capacité à dominer

la situation et de l'urgence à réagir (Sander & Scherer, 2009). Ceci explique peut-être pourquoi le biais de négativité est accentué pour ce type d'évaluation selon la tendance à l'action. Cette opposition de résultats entre l'**étude 1** et **3**, qui ne varient que par la tâche demandée aux participants, montre qu'il est important de considérer ce contexte de tâche motivationnelle.

Dans l'**étude 4**, nous avons étudié les effets de l'âge sur l'interaction entre la capture attentionnel provoquée par la nature émotionnelle de stimuli en situation de conflit et l'orientation volontaire de l'attention induites par la tâche. Dans la vie quotidienne, il est assez fréquent que divers stimuli soient présents simultanément dans notre champ attentionnel. Une sélection des stimuli va s'opérer en fonction de leur pertinence intrinsèque mais aussi en fonction de facteurs contextuels ou relatifs à l'individu (humeur, besoin, but...). Nous avons voulu préciser si les personnes âgées pouvaient être plus vulnérables que les participants jeunes faute de détection des stimuli menaçants due aux effets de positivité qui augmentent la préférence pour les stimuli positifs. Cette **étude 4** montre que les effets de positivité n'apparaissent que lorsque les stimuli positifs sont au centre de l'attention dans la tâche (cible). Plus précisément, nous avons observé chez les sujets âgés, une plus grande facilitation de traitement d'une cible positive (par rapport à une cible neutre) en présence d'un distracteur négatif par rapport aux participants jeunes. Un effet de positivité n'est observé que dans cette configuration. Un distracteur positif en comparaison avec un distracteur neutre ne provoque pas plus de distraction chez les personnes âgées que chez les personnes jeunes sur le traitement d'une cible négative. Une cible négative n'est pas non plus traitée moins rapidement par les sujets âgés qu'une cible neutre même lorsque le distracteur est positif. Ainsi, nous répliquons avec des scènes naturelles, l'étude dont nous nous sommes inspirés qui a utilisé des visages émotionnels (Goeleven et al., 2010). Nous avons ensuite décliné cette **étude 4** en EEG pour étudier les effets de positivité au niveau cérébral. Bien que les composantes relatives aux processus attentionnels aient bien été identifiées, aucun effet de l'âge n'a été observé et les résultats observés dans la version « comportementale » de l'étude n'ont pas été reproduits. Nous supposons que l'adaptation méthodologique effectuée pour réaliser l'étude en EEG et le mode d'analyse des composantes sont probablement une des causes de cette absence de résultats liés à l'âge. Par conséquent, nous n'intégrerons pas les résultats de la version EEG de cette **étude 4** dans ce chapitre.

1.2. Les modèles de vieillissement émotionnels au regard de nos résultats

Plusieurs modèles expliquant les raisons des effets de positivité ont été proposés. Cacioppo et collaborateurs (2011) supposent que les pertes neuronales avec l'âge, et en particulier l'atrophie de l'amygdale, seraient la cause des modifications dans les traitements des stimuli négatifs chez les sujets âgés. En considérant que l'amygdale est une structure spécifique du traitement de l'émotion de peur, tels que le suggèrent des modèles localisationnistes des émotions (LeDoux, 1995; Ohman et al., 2001), les résultats de l'**étude 1** appuient ce modèle puisque nous observons une réduction du biais de négativité au niveau des processus attentionnels quel que soit le niveau d'activation des stimuli négatifs. Cependant, pour valider l'hypothèse d'une altération amygdalienne, ce patron d'activation aurait dû être retrouvé dans l'**étude 3**, identique en tout point à l'**étude 1** sauf par rapport à la tâche demandée aux participants. Contrairement à cette **étude 1**, nous observons une préservation du biais de négativité avec l'âge quel que soit le niveau d'activation des stimuli négatifs. Dans des études comportementales, d'autres auteurs ont déjà montré que l'effet de positivité était réversible et dépendait de la tâche demandée (Emery & Hess, 2008; Knight et al., 2007; Löckenhoff & Carstensen, 2007). Cette propriété de réversibilité des effets de positivité en fonction du contexte de tâche est incompatible avec le modèle de vieillissement émotionnel de Cacioppo (2011) qui supposerait une altération du traitement des stimuli négatifs quel que soit le contexte.

Ces deux premières études en EEG confortent l'idée d'une préservation des traitements émotionnels avec l'âge et d'effets de positivité liés à des processus cognitifs de régulation émotionnelle comme le suggère le modèle du « contrôle cognitif » proposé par Mather (2005, 2012). Ce modèle repose sur la TSS, défendue par Carstensen (1999, 2011) qui fait l'hypothèse de changement sur le plan motivationnel au cours du vieillissement « sain ». Les personnes âgées, ayant conscience que leur avenir s'écourte, privilégieraient leur bien-être et réguleraient inconsciemment leurs émotions. Les personnes âgées se détourneraient des émotions négatives et privilégieraient les émotions positives. Toujours selon ce modèle, la régulation émotionnelle chez les sujets âgés serait inconsciente mais pas systématique. Sa mise en place dépendrait des ressources cognitives du sujet âgé (Knight et al., 2007; Mather & Carstensen, 2005) ainsi que de ses motivations et du contexte de la tâche (Emery & Hess, 2008; Hicks et al., 2012; Löckenhoff & Carstensen, 2007). Dernier point que nos **études 1** et **3**, différentes par la motivation induite par la tâche, soutiennent avec des résultats au niveau

des processus cérébraux. C'est le cas également pour l'**étude 4** dans laquelle les effets de positivité sont observés uniquement lorsque qu'ils peuvent être bénéfiques à la réalisation de la tâche selon les groupes d'âge.

Gross (1998, voir aussi Urry et Gross 2010) précise que plusieurs types de stratégie de régulation sont possibles et des études tendent à montrer que les personnes âgées utiliseraient plutôt une stratégie de type redéploiement attentionnel qu'une stratégie de réévaluation positive des situations ou de suppression des émotions négatives/amplification des émotions positives (Opitz et al., 2012; Van Reekum et al., 2007). Les résultats de l'**étude 4** confortent cette idée puisque nous observons une facilitation à traiter une cible positive lorsque le distracteur est négatif, ce qui pourrait être le reflet d'une attirance attentionnel pour les stimuli positifs et/ou d'un évitement attentionnel pour les stimuli négatifs.

Dans l'**étude 1**, nous montrons que toutes les situations négatives menaçantes provoquent un engagement émotionnel diminué avec l'âge et seraient modulées par les processus de régulation indépendamment de leur niveau d'activation. Ce résultat n'est pas celui que l'on aurait pu prédire sur la base de deux autres modèles de contrôle cognitif, le modèle DIT (Labouvie-Vief, 2003) et le modèle SAVI (Susan Turk Charles, 2010). Le point commun entre ces deux modèles tient au fait que seules les émotions faiblement activatrices pourraient être régulées. Le modèle DIT suggère que les personnes âgées ayant des capacités cognitives diminuées, n'auraient pas les ressources suffisantes pour réguler les émotions très activatrices. Le modèle SAVI, dérivé du modèle proposé par Mather, indique que le système nerveux autonome des personnes âgées étant moins flexible, la régulation des situations négatives très activatrices serait plus difficile. L'inertie du système provoquerait des réponses au stress plus longues et plus perturbatrices pour les processus cognitifs. Au regard de nos résultats, un doute subsiste donc sur la validité de ces 2 modèles. Aucune étude à ce jour n'a vraiment fait la comparaison entre les différents modèles de vieillissement. Par ailleurs, toutes les études sur les effets de l'âge sur les traitements émotionnels se réfèrent à la TSS et au modèle de «contrôle cognitif» proposé par Mather (2005,2012), que nous soutenons, comme cadre interprétatif.

Les résultats des **études 1** et **3** supportent donc les modèles de «contrôle cognitif». Néanmoins, l'**étude 4** soulève une question importante qui nous permet d'aller plus loin dans la compréhension des conditions d'émergence des effets de positivité. Pourquoi dans une consigne de catégorisation selon la tendance à l'action les processus de régulation pourtant

inconscient ne se mettent pas en place? Certaines études, ayant manipulé le contexte de tâche, ont montré une absence d'effets de positivité dans le cas d'une double tâche, suggérant ainsi qu'un minimum de ressources cognitives est nécessaire pour mettre en place les processus de régulation (Knight et al., 2007; Mather et al., 2005). Dans notre cas, une tâche de tendance à l'action ne représente pas un coût cognitif assez important pour que nos résultats soient justifiés par la suggestion précédente. Par ailleurs, des études ont montré que les effets de positivité chez la personnes âgées disparaissaient lorsqu'il leur était demandé d'évaluer des stimuli émotionnels selon des critères objectifs (Emery & Hess, 2008; Löckenhoff & Carstensen, 2007). Ces observations ne justifient pas nos résultats, puisqu'ils impliqueraient qu'une catégorisation selon la tendance à l'action résulterait d'une évaluation non émotionnelle des stimuli. Or, cette interprétation est incompatible avec les théories motivationnelles de l'émotion qui place la tendance à l'action comme faisant partie des processus émotionnels (Sander & Scherer, 2009; Scherer, 1984) voire comme étant l'émotion (Frijda et al., 1989). L'hypothèse d'Eppinger (2011) est plus probable pour expliquer cette opposition de résultats entre **études 1** et **3**. Selon cet auteur, les processus de régulation avec l'âge ne s'activeraient pas lorsque les choix des participants impliquent des conséquences sur leur intégrité et comportement futur. Une tâche de catégorisation émotionnelle, telle que dans l'**étude 1**, favoriserait donc la régulation des stimuli négatifs chez les personnes âgées puisque qu'il n'y a aucune conséquence suite aux réponses évaluatives. A contrario, choisir entre diverses actions, comme dans l'**étude 3**, ne favoriserait pas la mise en place des processus de régulation, l'action choisie pouvant entraîner des conséquences (imaginaires) sur l'individu. Ce résultat montre que l'évaluation des conséquences de l'action fait partie du traitement émotionnel et agit sur l'émergence des effets de positivité. Par ailleurs, il renforce aussi l'idée que les effets de positivité sont liés à la dimension émotionnelle des stimuli laquelle serait modulée par la motivation de l'individu à accroître son niveau de bien-être mais qu'à l'échelle de l'individu, une hiérarchie des motivations subsistent et est dépendante du contexte. Dans ce sens, l'**étude 4** nous montre que plusieurs motivations peuvent être en synergie et contribuer à améliorer les performances dans une tâche. Dans le cas où les motivations sont incompatibles, certaines sont prioritaires et d'autres mises de côté par l'individu.

Pour résumer, par défaut la personne âgée serait motivée à augmenter son bien-être, probablement par conscience d'un avenir plus réduit (Carstensen, 1995) et engagerait, pour cela, des processus de régulation dès que possible (Nashiro et al., 2011). Avec ce travail de thèse, nous montrons que, dans un contexte où la recherche de bien être peut devenir

incompatible avec d'autres motivations plus prioritaires pour l'individu, comme son intégrité physique, la régulation émotionnelle des situations négatives ne serait pas effective. Il est donc particulièrement important de considérer le type d'interaction que l'individu va avoir avec son environnement (simplement jugement ou comportement d'adaptation) dans l'étude des modulations des traitements émotionnels avec l'âge.

1.3. Le vieillissement dans les théories générales des émotions : nouveau point de vue sur l'évolution des traitements émotionnels

Sur la base d'un changement sur le plan motivationnel des individus âgés comme cause aux effets de positivité tel que le suggère la TSS (Carstensen, 1995), étudier les effets du vieillissement en comparant individus jeunes et âgés revient à manipuler expérimentalement les motivations de deux groupes d'individus, dont l'un possède une motivation en plus : potentialiser son bien-être. Dans ce cadre-là, nos résultats peuvent être discutés au regard de certaines théories des émotions.

Certaines théories motivationnelles proposent une association entre la valeur affective des stimuli (valence) et la tendance à l'action provoquée (Chen & Bargh, 1999; Moors & De Houwer, 2006). Ce processus d'association serait automatique, rapide et indépendant des buts. Dans l'**étude 3**, nous valorisons les processus relatifs à la tendance à l'action. Selon ces théories motivationnelles, il pourrait y avoir au niveau cérébral une association automatique entre valence des stimuli et tendances à l'action. Si tel était le cas, nous n'aurions pas dû observer de différences de résultats entre nos **études 1** et **3**. Cette opposition de résultats entre les **études 1** et **3** suggère plutôt que le processus d'évaluation de la valeur affective des situations est distinct des processus relatifs à la tendance à l'action. Dans le cas contraire, des effets de positivité auraient dû être observés dans l'**étude 3**, conformément à l'**étude 1**. Le point de vue proposé par Scherer (Scherer, 1984) qui précise que la tendance à l'action est une composante à part entière de l'émotion semble donc mieux convenir que ces approches qui lient valeur affective et tendance à l'action. Nos résultats sont aussi compatibles avec la théorie de Frijda (1989) qui définit la tendance à l'action par rapport aux motivations du sujet et aux conséquences recherchées par ses actes (*e.g.*, se protéger, être avec) et non par rapport à la valeur affective du stimulus seule.

Dans la suite de cette argumentation concernant la motivation, nous allons défendre l'idée que les effets de positivité chez les individus âgés ne sont pas dus à des processus de

régulation émotionnelle ou à d'autres processus non définis qui viennent s'ajouter au traitement émotionnel « de base » et qui les modulent. Nous allons proposer un point de vue alternatif : les deux groupes d'âges utiliseraient les mêmes processus de traitement de l'information émotionnelle mais avec des paramètres différents suite à des changements sur le plan motivationnel des individus âgés.

Le modèle des processus composantes (Scherer, 1984) s'inscrit dans les théories de l'évaluation cognitive (Arnold, 1960). Selon ce modèle, l'émotion émerge non pas d'une mais de plusieurs évaluations cognitives successives qui n'ont pas toutes le même objectif et qui se déroulent selon une séquence particulière. Ce processus d'évaluation cognitive influence et est influencé par d'autres sous-composantes de l'émotion telles que la tendance à l'action. L'activité cérébrale peut d'ailleurs refléter la séquence d'évaluation cognitive (Grandjean & Scherer, 2008). Les deux premières étapes consistent en une évaluation de la pertinence et de l'implication pour le sujet de la situation (figure 46, voir aussi chapitre II, 2.1, figure 3). Cette évaluation de la pertinence possède trois critères : un critère de nouveauté (similaire entre nos deux âges), un critère d'agrément intrinsèque (considérée comme similaire entre les âges) et un critère de pertinence avec les buts de l'individu. Pour ce dernier critère, la motivation jouerait un rôle très important. Nous rappelons qu'elle est différente entre nos groupes d'âge. Dans une tâche d'évaluation émotionnelle (**étude 1**), n'engageant pas d'implication pour le sujet en termes de conséquences pour lui, l'évaluation de la pertinence pourrait donc être différente entre nos deux groupes d'âge. Les images négatives ne permettant pas de satisfaire la recherche de bien-être mais gardant un certain poids d'agrément intrinsèque, seraient évaluées comme moins pertinentes chez les participants âgés que chez les participants jeunes qui n'ont pas les mêmes priorités. Cela aurait pour conséquences un engagement attentionnelle moindre s'observant au niveau de l'activité cérébrale et en particulier au niveau de l'onde LPP.

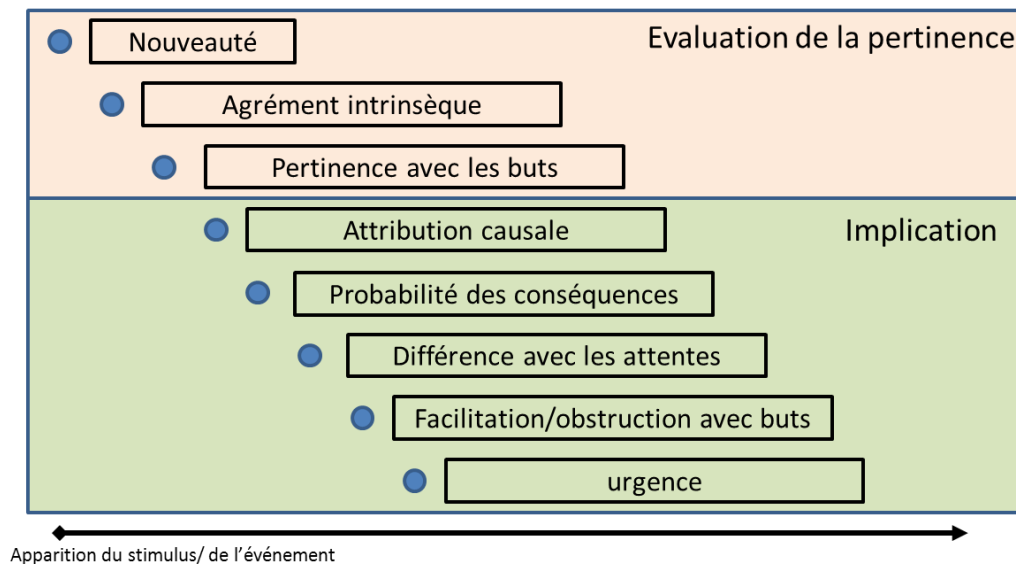


Figure 46 : Etapes du processus d'évaluation cognitive en fonction du temps dans le modèle des « processus -composantes ».

Dans le cas de l'**étude 3**, une tâche de tendance à l'action a été proposée. Puisque nos images sont menaçantes et que nous demandons au sujet de s'imaginer d'y faire face, la motivation en termes de survie pour l'individu est mise en avant par rapport à la recherche de bien-être qui devient secondaire. Par rapport à l'**étude 1**, les évaluations de la pertinence et de l'implication qui intègrent les conséquences sur l'individu et prennent en compte ses buts, vont être différentes, ce qui va conduire à un résultat différent. Dans l'**étude 4**, une facilitation n'est observée que dans le cas où la cible est positive chez les personnes âgées et en présence d'un distracteur négatif. A nouveau, ce résultat peut être justifié par un traitement différentiel entre nos participants âgés et jeunes sur la base d'un changement sur le plan motivationnel. La facilitation chez les personnes âgées n'est observée que dans le cas où l'information pertinente pour celles-ci par rapport à leur motivation de recherche de bien-être (information positive) est au centre de l'attention liée à la tâche. Autrement dit, l'orientation volontaire vers le traitement de l'information positive par la tâche à réaliser amplifierait la pertinence de la cible positive (voire son implication aussi) et faciliterait l'émergence d'effets de positivité en facilitant l'orientation de l'attention sur la cible positive et son traitement perceptuel et en inhibant le pouvoir d'attraction des distracteurs.

A la lumière de ce point de vue sur l'évolution des traitements émotionnels avec l'âge et du modèle des « processus composantes », nous allons proposer une réinterprétation des

résultats obtenus en neuro-imagerie dans l'étude des traitements émotionnels au cours du vieillissement sain.

Des propositions ont été faites quant aux modèles cérébraux sous tendant le modèle des processus-composantes (pour revue Brosh et Sander, 2013). Un modèle de traitement des stimuli émotionnels tel que celui proposé par Adolphs et Pessoa (2010) dit « multi-voies » conviendrait mieux que des modèles plus linéaires tels que celui de Ledoux (1996) puisque le modèle des processus composantes impliquent de nombreux va et vient entre différents processus d'évaluations cognitives et d'autres composantes. Au niveau des structures cérébrales, Sander (2003, voir aussi Brosch et Sander, 2013) propose que l'amygdale soit à la base de l'évaluation de la pertinence des situations mais qu'elle participerait aussi aux étapes évaluatives ultérieures. Le cortex cingulaire antérieur dont l'activité a été mis en évidence notamment dans les situations de conflits, ainsi que le cortex préfrontal dorso-latéral (CPF_{DL}) pourraient intervenir dans l'étape d'évaluation de l'implication (voir figure 46) concernant « la différence entre la situation et les attentes » et la « facilitation/obstruction induite par la situation avec les buts ». On notera que pour les processus sous tendus par ces structures, les motivations de l'individu jouent un rôle clé. Le cortex préfrontal dorso-médian (CPF_{DM}) et l'insula participeraient à l'attribution causale et le cortex préfrontal médian (partie ventrale et dorsale ; CPF_M) à l'évaluation de la compatibilité avec les normes et les valeurs de l'individu. Les études de neuro-imagerie, chez les individus âgés, observent principalement une diminution de l'activité de l'amygdale et une augmentation de l'activité du cortex préfrontal pour les stimuli négatifs. Une vaste majorité des études interprète ce résultat comme la présence de processus de régulation émotionnelle mis en place chez les sujets âgés qui sont motivés par la recherche de leur bonheur. Plutôt que de parler de processus de régulation sous tendus par un réseau particulier et influençant les traitements, nous suggérons de voir les modulations dans l'activité de ces structures comme le reflet du processus d'évaluation cognitive se déroulant différemment avec l'âge, la personne âgée ayant la motivation de potentialiser son bien-être. Les modulations avec l'âge de l'activité de l'amygdale refléteraient une évaluation différente et diminuée de la pertinence pour les stimuli négatifs qui ne répondent pas à cette motivation de bien-être. Les effets observés au niveau du cortex préfrontal et du cortex cingulaire, quant à eux, pourraient être le reflet des étapes d'évaluation ultérieures à la pertinence telles que : l'évaluation de l'implication, en particulier l'évaluation des conséquences pour l'individu et l'obstruction à ses buts et besoins ou encore la gestion d'un conflit d'ordre motivationnel pour le sujet. Nous justifions que les

stimuli négatifs chez les personnes âgées provoquent tout de même plus d'activité que les stimuli neutres car les stimuli négatifs font intrinsèquement écho aux motivations profondes de l'individu, telle que le maintien de son intégrité, en particulier dans le cas de situations menaçantes, bien qu'en supposé ils ne satisfont pas cette recherche de bien être plus secondaire. La tardivité supposée de l'apparition des effets de positivité chez les personnes âgées pourrait être due à l'ordre des évaluations cognitives et au moment où la motivation intervient dans ces étapes. Grandjean et Scherer (2008) montrent que le but de la tâche ne module l'activité cérébrale recueillie au niveau du scalp (EEG) qu'à partir de 160ms après l'apparition des stimuli. Une analyse par bande de fréquence de cette activité montre une modulation maximale entre 385 et 512ms, soit peu de temps avant l'apparition de la LPP.

Nous venons de proposer que les processus de régulation chez les personnes âgées peuvent être vus comme un processus d'évaluation cognitif avec des paramètres de motivation différents. Nous pourrions suggérer que les processus de régulation de manière générale ne relèvent pas de processus à part entière ou de réseaux particuliers même chez la personne jeune, et ne seraient qu'un processus d'évaluation cognitive avec des paramètres motivationnelles différents et définis en partie par la tâche. Lorsque la régulation émotionnelle est demandée durant la perception des stimuli ou lorsqu'elle intervient volontairement, on pourrait voir la régulation émotionnelle comme un réamorçage des processus d'évaluations cognitives avec des nouveaux ordres de priorité dans les motivations.

Pour conclure, nous suggérons de voir les effets de positivité liés à l'âge comme pouvant être le reflet d'un traitement des situations émotionnelles différent provoqué par des priorités dans les motivations différentes et non comme des processus de régulation qui viennent modifier le traitement émotionnel. Ces interprétations ne sont que des suggestions et un simple changement de point de vue, qui pourraient éventuellement ouvrir vers de nouvelles pistes dans l'étude des effets du vieillissement sur le traitement émotionnel et dans l'étude des émotions de manière plus globale. Nous n'avons pas d'arguments pour rejeter l'autre point de vue (*i.e.*, processus de régulation).

Quel que soit le modèle justifiant des effets de positivité, ce changement de motivation avec peut-il être une source de vulnérabilité chez la personne âgée ?

2. Implication et apport de nos travaux à la vie quotidienne

2.1. Une vulnérabilité des personnes âgées dans les traitements émotionnels existe-elle ?

Dans ce travail de thèse, nous avons développé l'idée d'une vulnérabilité relative et conditionnelle des personnes âgées due aux effets de positivité. L'ensemble de nos études ainsi que la littérature suggèrent que les traitements émotionnels sont préservés chez la personne âgée mais que celle-ci utiliserait des stratégies de régulation émotionnelle pour l'amener à potentialiser son bien-être. La préférence pour les stimuli positifs par rapport aux stimuli négatifs augmente avec l'âge. Nous avons fait le choix d'étudier les modulations dans les traitements avec l'âge au niveau attentionnel même si ces effets de positivité ont aussi des répercussions sur la prise de décision et la mémoire.

Nous parlons de vulnérabilité relative car ce processus développemental protégerait la personne âgée de la dépression notamment (Isaacowitz, Toner, et al., 2009). Par conséquent cette vulnérabilité doit être liée au contexte dans lequel se trouve la personne âgée. Au quotidien, de nombreuses informations perceptives simultanées doivent être traitées par notre cerveau et les émotions induites par certains stimuli vont contribuer à orienter l'attention vers ce qui est pertinent (chapitre II, 4). Or, chez la personne âgée, du fait des effets de positivité, les stimuli positifs pourraient être préférés au détriment des stimuli négatifs potentiellement dangereux.

L'**étude 1** nous a permis de montrer que les effets de positivité en termes de changements dans les biais attentionnels sont dus principalement à une modulation dans les traitements des stimuli négatifs et non à un changement pour les stimuli positifs. De plus, nous avons montré que l'engagement attentionnel était réduit pour les situations même les plus menaçantes, ce qui conforte notre hypothèse initiale de vulnérabilité due à des effets de l'âge sur les traitements émotionnels. En effet, si les stimuli négatifs attirent moins l'attention, le rôle facilitateur provoqué par l'émotion induite par la situation négative est amoindri. Les traitements perceptifs sont donc moins approfondis et la personne âgée peut réagir moins rapidement. De plus, la littérature suggère que la régulation émotionnelle des stimuli négatifs chez la personne âgée consisterait en une réorientation du regard (Opitz et al., 2012; Van Reekum et al., 2007). Par conséquent, le stimulus potentiellement dangereux pourrait sous l'influence de ces processus de régulation, échapper à l'attention du sujet. Néanmoins, l'**étude**

3 montre que ces effets de positivité sont très dépendants du contexte de tâche de l'individu. La régulation émotionnelle conduisant à une dévaluation des stimuli négatifs ne se met pas en place dans des tâches portées sur les tendances à l'action induites par des stimuli affectifs. L'**étude 4** renforce cette idée d'effets liés à l'âge en fonction des objectifs motivationnels propres à l'individu et à la tâche, les effets de positivité étant uniquement observés lorsque la tâche facilite et oriente l'attention sur le stimulus pertinent pour l'individu âgé dans une situation de conflit émotionnel. Dans cette **étude 4**, les stimuli négatifs ont eu le même impact sur l'attention chez les participants jeunes et âgés. Les personnes âgées sont, certes nettement plus lentes à répondre et donc plus vulnérables que les individus plus jeunes, mais leurs temps de réaction allongés ne sont pas les causes d'effets de positivité mais probablement les causes d'un ralentissement des traitements cognitifs globaux (Chapitre I).

En résumé, les modulations liées à l'âge dans le traitement des situations négatives conduisant à la diminution de la préférence des situations négatives par rapport aux positives ne surviendrait que lorsque le contexte de tâche le permet. La motivation des personnes âgées à potentialiser leur bien être serait une motivation secondaire qui influencerait le comportement de l'individu uniquement lorsqu'elle ne va pas à l'encontre de motivations plus prioritaires. Dans des conditions où les risques d'atteinte de l'intégrité de la personne sont importants telles que la conduite automobile, nous pourrions donc conclure que ces effets de positivité ne contribueraient pas à l'augmentation de la vulnérabilité des plus âgés, dans ces conditions, aucune contrainte externes n'indiquerait à l'individu de se focaliser sur son bien-être.

Néanmoins, il semblerait que cette recherche de bien-être soit latente et sous tendue par des processus de régulation automatiques et inconscients. En effet, des effets de positivité sont observés sur l'attention dans des conditions de perception passive d'images (Isaacowitz, Toner, et al., 2009; Isaacowitz et al., 2006a, 2006b; Murphy & Isaacowitz, 2008). Des études en psychologie sociale soutiennent aussi cette idée. Les personnes âgées sont, en effet, moins facilement distraites que les personnes jeunes par des événements stressants du quotidien (Charles & Almeida, 2007) ou par des conflits interpersonnels (Birditt et al., 2005). Elles ont plus de facilité à se détacher d'expériences négatives de la vie quotidienne et sont moins sujettes à des pensées négatives de type rumination mentale que les plus jeunes (Phillips et al., 2008). Les adultes âgés ont une certaine propension à éviter les situations sociales négatives soit en se retirant quand elle se présente ou encore en restant en marge des zones de conflits, en évitant donc de s'y impliquer (Birditt & Fingerman, 2005; Blanchard-Fields et al., 2007;

Charles et al., 2009; Coats & Blanchard-Fields, 2008). Dans des situations peu complexes, de type « conduite sur autoroute avec un trafic très fluide », la survenue d'un événement potentiellement dangereux devrait capturer l'attention de l'individu âgé puisque dans les **études 1 et 3** nous avons noté que les stimuli négatifs capture toujours davantage l'attention que les stimuli neutres. Toutefois, dans le cas de situations de conflit émotionnel, si l'attention des personnes âgées est orientée vers une information positive, des effets de positivité pourraient être observés. Une configuration analogue peut survenir sur la route : imaginons une personne âgée arrivant à un carrefour et cherchant sa direction. Dans ce cadre-là, une pancarte indiquant la direction recherchée pourrait prendre une teinte émotionnelle positive, la capture attentionnelle d'événements potentiellement menaçants s'en retrouverait amoindrie, en référence à l'**étude 4**. L'individu âgé satisfait d'avoir trouvé la direction pourrait s'engager et manquer un événement potentiellement dangereux comme une voiture roulant sur le carrefour, un piéton qui traverse.

2.2. Des ICMs pour prévenir d'un danger mais pas seulement

Sous l'hypothèse d'une vulnérabilité dans les traitements émotionnels avec l'âge, nous avons pour idée à très long terme de pouvoir proposer aux sujets âgés une interface-cerveau machine capable de protéger la personne lorsque celle-ci ne porte pas attention à une situation potentiellement dangereuse. L'avantage de ce type de système par rapport aux systèmes automatiques tient au fait que la machine n'intervient que si nécessaire, c'est-à-dire quand l'individu, sous l'influence des processus relatifs aux effets de positivité, ne traite pas un stimulus menaçant. Ce type de système revient à vérifier si les marqueurs caractérisant l'état émotionnel et attentionnel lié aux situations menaçantes sont bien présents dans les signaux neuronaux lorsque qu'une de ces situations dangereuses se présente à lui. Vu sous cet angle, ce type d'ICM pourrait servir même quand il n'y a pas de mise en place d'effets de positivité et pour tout type de public. En situation de conduite automobile, par exemple, ce type d'ICM pourrait prévenir d'un événement comme un piéton qui traverse, une voiture arrivant en sens inverse que nous n'aurions pas détecté. Ce genre d'ICM nécessiterait deux sous-systèmes. Un premier permettrait via des capteurs, caméras ou autre dispositif, de détecter la présence d'un événement dangereux et un second qui recueillerait et évaluerait les signaux neuronaux en temps réel. Nous avons travaillé sur le second système et des résultats très encourageants sur sujets jeunes et âgés sont obtenus, en particulier pour évaluer, en moins d'une seconde, la présence dans les signaux neuronaux du traitement d'un stimulus très menaçant par rapport au

traitement d'un stimulus moins menaçant ou neutre. Des travaux sont en cours pour améliorer encore les performances des algorithmes et pour pouvoir permettre la concrétisation de ce type d'ICM.

Il est à noter que les ICMs basées sur les états émotionnels sont actuellement en plein essor (Garcia–Molina et al., 2013). La détection d'états émotionnels peut avoir de nombreux autres champs d'application que celui qui a motivé ce travail de thèse. La détection d'états émotionnels peut permettre d'adapter le scénario d'un jeu vidéo en fonction des réactions du joueur (Molina, Nijholt, & Twente, 2009), d'étiqueter automatiquement du contenu de média (Soleymani et al., 2012). Sur le plan sociétal et économique, après calibration de la machine avec des stimuli émotionnels stéréotypés, des ICMs basées sur la détection d'états émotionnels pourraient servir aussi à évaluer le ressenti émotionnel des individus par rapport à une affiche de sensibilisation, un produit, en complément des réponses subjectives rapportées par le sujet. Pour cela, le classifieur pourrait retourner, dans ces conditions, une sortie continue et non binaire, par exemple une valeur sur une échelle d'activation.

3. Limites et perspectives

Alors que notre originalité dans les deux premières études a été d'évaluer les différences de traitement entre deux niveaux d'activation de stimuli négatifs, nous n'avons pas manipulé le niveau d'activation des stimuli positifs, ce qui n'a jamais été fait à l'échelle des traitements cérébraux. Grühn et Scheibe (2008) montrent que les stimuli positifs fortement activateurs et extrêmement positifs sont jugés moins positivement et moins activateurs par les personnes âgées. Il est donc envisageable que les stimuli positifs très activateurs soient modulés par l'âge et perdent de leur capacité à attirer l'attention, ce qui justifierait la préservation du biais de négativité au niveau comportemental pour les stimuli de haute activation. Cette piste pourrait donc permettre d'apporter de nouvelles informations pour mieux définir les caractéristiques des stimuli qui peuvent conduire à une vulnérabilité dans des situations de conflits émotionnels et d'améliorer encore la compréhension des processus relatifs aux effets de positivité.

Ce travail de thèse avait pour but de répondre à la question de la vulnérabilité potentielle des personnes âgées due à des effets de positivité en cherchant à mieux comprendre le phénomène. Plusieurs choix ont été faits de façon à retreindre le cadre d'étude et à répondre

au mieux à cette question. Tout d'abord, nous avons essentiellement travaillé avec des stimuli négatifs menaçants. Par conséquent, la généralisation des résultats obtenus pour ces stimuli à l'ensemble des stimuli négatifs doit être confirmée par des études supplémentaires. Plusieurs arguments nous permettent tout de même de penser que c'est l'ensemble des stimuli négatifs qui sont modulés par l'âge. Une grande diversité d'études utilisant du matériel et des paradigmes très différents montre que ce phénomène est assez robuste et peut s'étendre à d'autres fonctions cognitives que l'attention. Certains utilisant des mots, d'autres des images, des sons, des visages sans s'être focalisés sur une catégorie émotionnelle particulière (pour revue voir Mather et al., 2012; Murphy & Isaacowitz, 2008; Reed & Carstensen, 2012; Scheibe, English, Tsai, & Carstensen, 2013).

Par ailleurs, nous avons évalué la vulnérabilité des sujets âgés sur la base d'études en laboratoire dans des situations stéréotypées. Bien que nous ayons cherché à nous rapprocher des situations réelles en essayant de proposer des tâches écologiques notamment avec l'étude 3 qui tient compte de la dimension action ou en indiquant systématiquement aux participants de s'imaginer qu'ils étaient face à la situation en réalité, le niveau d'écologie pourrait être encore augmenté afin de donner des conclusions plus précises. L'utilisation de simulateur de conduite, qui était une idée de départ à ce travail que nous n'avons pu développer, pourrait être ré-envisagée. L'évolution de ces outils ainsi que l'amélioration des dispositifs de réalité virtuelle pourrait permettre d'évaluer la vulnérabilité des personnes âgées dans des scénarios plus écologiques et définis plus précisément à la lumière de nos résultats. Il s'agirait de vérifier que, dans des situations simples, la personne âgée réagit correctement à diverses situations émotionnelles malgré la présence d'une régulation latente et automatique possible, comme suggérer par les études en psychologie sociale, et d'évaluer dans quelle mesure les situations de conflit émotionnel pourraient être des situations sources de vulnérabilité pour les personnes âgées avec un vieillissement « sain ». De plus, ce type de protocole pourrait nous permettre de mettre à l'épreuve notre méthodologie de classification proposée dans l'**étude 2** et évaluer sa robustesse dans des conditions moins expérimentales pour lesquelles le bruit dans les signaux neuronaux serait plus important et les traitements cognitifs moins stéréotypés.

Dans cette thèse, nous avons étudié l'évolution des processus émotionnels avec l'âge entre jeunes adultes et personnes âgées. Cependant, un parallèle intéressant peut être fait avec le développement des émotions chez les nourrissons. En effet, tout comme les adultes âgés, les nouveau-nés semblent aussi préférés les stimuli positifs. Une étude récente réalisée sur des

nourrissons de 1 à 5 jours semble montrer que ceux-ci ont une préférence attentionnelle (temps de regard) pour les visages exprimant la joie comparativement à des visages de peur ou neutres (Farroni, Menon, Rigato, & Johnson, 2007). En revanche, les visages de peur, très saillants ne semblent pas être préférés aux visages neutres. Dans cette expérience, puisque la saillance des stimuli a été contrôlée, cette préférence attentionnelle ne serait pas d'ordre perceptif mais bien émotionnel. Vers 5 mois, les nourrissons ne montrent plus de préférence pour les visages souriants par rapport aux visages de peur (Peltola, Leppänen, Mäki, & Hietanen, 2009) et montrent même parfois une préférence pour les visages de peur (Bornstein, Arterberry, Mash, & Manian, 2011). Dans cette continuité du développement des processus émotionnels durant l'enfance, une étude réalisée en IRMf avec des participants allant de 7 à 32 ans montre que l'activité de l'amygdale en réponse à des stimuli de peur présente une courbe en U avec un pic d'activité à l'adolescence (Hare et al., 2008). Des études de connectivité entre le cortex préfrontal médian et l'amygdale montrent, par ailleurs, que les processus de régulation émotionnelle se mettent en place petit à petit de l'enfance jusqu'au début de l'âge adulte (Gee et al., 2013). Impliquer dans une même étude différentes tranches d'âge, des enfants aux personnes plus âgées, pourrait ouvrir de nouvelles pistes à la fois sur le développement des processus cérébraux émotionnels au cours de la vie mais aussi sur le rôle et le fonctionnement de chaque structure dans l'émergence de l'émotion.

A la lumière de ce travail de thèse, c'est un peu comme-ci, les processus émotionnels se développent en deux temps : dans un premier temps dans le but de permettre la préservation de l'intégrité et l'autonomie de l'individu lesquelles seraient assurées au début par les parents puis progressivement par l'individu lui-même au fur et à mesure de la maturation des processus émotionnels ; dans un deuxième temps, à un âge plus avancé, dans le but de retrouver l'insouciance et le bonheur des tous premiers jours. Bien évidemment le fonctionnement des processus émotionnels chez les personnes âgées est bien différent de celui des nouveaux nés et l'idée défendue dans cette thèse était de ne pas voir le vieillissement « normal » comme une régression ou un déclin mais bien une évolution.

Conclusion

L'ensemble de ce travail de thèse aura donc permis une meilleure compréhension des effets de positivité liés à des modulations dans les traitements émotionnels avec l'âge. L'ensemble des résultats suggèrent que les traitements émotionnels et les processus attentionnels sont relativement bien préservés avec l'âge. Notre travail a essentiellement consisté à travailler sur les conditions d'émergence des effets de positivité. Nous avons pu mettre en évidence le rôle particulièrement important de la motivation de l'individu et du contexte perceptif et motivationnelle dans leur apparition chez l'individu âgé. Ainsi, nous avons pu mieux définir les situations dans lesquelles les personnes âgées seraient plus vulnérables que les plus jeunes. Des travaux plus appliqués présentés dans cette thèse, laisse entrevoir la possibilité d'élaborer des dispositifs de type Interface Cerveau-Machine pour les personnes âgées, pour éventuellement les protéger si nécessaire.

Références bibliographiques

- Addis, D. R., Leclerc, C. M., Muscatell, K. A., & Kensinger, E. A. (2010). There are age-related changes in neural connectivity during the encoding of positive, but not negative, information. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 46(4), 425–33.
- Adolphs, R., Tranel, D., Bechara, A., & Damasio, H. (1996). Neurobiology of Decision-Making. In A. R. Damasio, H. Damasio, & Y. Christen (Eds.), *Neurobiology of decision-making* (pp. 157–179). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Allard, E. S., & Isaacowitz, D. M. (2008). Are preferences in emotional processing affected by distraction? Examining the age-related positivity effect in visual fixation within a dual-task paradigm. *Neuropsychology, development, and cognition. Section B, Aging, neuropsychology and cognition*, 15(6), 725–743.
- Allen, J. S., Bruss, J., Brown, C. K., & Damasio, H. (2005). Normal neuroanatomical variation due to age: the major lobes and a parcellation of the temporal region. *Neurobiology of aging*, 26(9), 1245–60; discussion 1279–82.
- Anderson, A. K. (2005). Affective influences on the attentional dynamics supporting awareness. *Journal of experimental psychology. General*, 134(2), 258–281.
- Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2002). Is the human amygdala critical for the subjective experience of emotion? Evidence of intact dispositional affect in patients with amygdala lesions. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(5), 709–720.
- Anderson, A. K., & Sobel, N. (2003). Dissociating intensity from valence as sensory inputs to emotion. *Neuron*, 39(4), 581–583.
- Antal, A., Kéri, S., Kovács, G., Janka, Z., & Benedek, G. (2000). Early and late components of visual categorization: an event-related potential study. *Brain research. Cognitive brain research*, 9(1), 117–119.
- Armony, J. (2002). Modulation of spatial attention by fear-conditioned stimuli: an event-related fMRI study. *Neuropsychologia*, 40(7), 817–826.
- Arnold, M. B. (1960). *Emotion and personality*. New York, NY: Columbia University Press.
- Ashley, V., & Swick, D. (2009). Consequences of emotional stimuli: age differences on pure and mixed blocks of the emotional Stroop. *Behavioral and brain functions : BBF*, 5, 14.
- Baltes, P. B., & Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences* (pp. 1–34).
- Bamford, S., & Ward, R. (2008). Predispositions to approach and avoid are contextually sensitive and goal dependent. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(2), 174–83.
- Banich, M. T. (2009). Executive Function: The Search for an Integrated Account. *Current Directions in Psychological Science*, 18(2), 89–94.
- Barachant, A., Bonnet, S., Congedo, M., & Jutten, C. (2012). Multiclass brain-computer interface classification by Riemannian geometry. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 59(4), 920–8.
- Bargh, J. A., Chaiken, S., Govender, R., & Pratto, F. (1992). The generality of the automatic attitude activation effect. *Journal of personality and social psychology*, 62(6), 893–912.
- Barrett, L. F., & Bar, M. (2009). See it with feeling: affective predictions during object perception. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364(1521), 1325–1334.
- Batty, M., & Taylor, M. J. (2002). Visual categorization during childhood: an ERP study. *Psychophysiology*, 39(4), 482–490.

- Batty, Magali, & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Brain research. Cognitive brain research*, 17(3), 613–620.
- Baumeister, R., Bratslavsky, E., Finkenauer, C., & Vohs, K. D. (2001). Bad is stronger than good. *Review of general psychology: journal of Division 1, of the American Psychological Association*, 5(4), 323–370.
- Beauregard, M., Lévesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 21(18), RC165.
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain : a journal of neurology*, 123 (Pt 1, 2189–202.
- Beer, J. S., Knight, R. T., & D'Esposito, M. (2006). Controlling the integration of emotion and cognition: the role of frontal cortex in distinguishing helpful from hurtful emotional information. *Psychological science*, 17(5), 448–53.
- Birditt, K. S., & Fingerman, K. L. (2005). Do we get better at picking our battles? Age group differences in descriptions of behavioral reactions to interpersonal tensions. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 60(3), P121–8.
- Birditt, K. S., Fingerman, K. L., & Almeida, D. M. (2005). Age differences in exposure and reactions to interpersonal tensions: a daily diary study. *Psychology and aging*, 20(2), 330–40.
- Blanchard-Fields, F., Mienaltowski, A., & Seay, R. B. (2007). Age differences in everyday problem-solving effectiveness: older adults select more effective strategies for interpersonal problems. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 62(1), P61–4.
- Blankertz, B., Lemm, S., Treder, M., Haufe, S., & Müller, K.-R. (2010). Single-trial analysis and classification of ERP components--a tutorial. *NeuroImage*, 56(2), 814–25.
- Borgatta, E. F., & Foss, R. G. (1979). Correlates of age: the NORC General Social Survey. *Research on Aging*, 1, 253–272.
- Bornstein, M. H., Arterberry, M. E., Mash, C., & Manian, N. (2011). Discrimination of facial expression by 5-month-old infants of nondepressed and clinically depressed mothers. *Infant behavior & development*, 34(1), 100–6.
- Brabec, J., Rulseh, A., Hoyt, B., Vizek, M., Horinek, D., Hort, J., & Petrovicky, P. (2010). Volumetry of the human amygdala - an anatomical study. *Psychiatry research*, 182(1), 67–72.
- Bradley, M M, Codisoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion (Washington, D.C.)*, 1(3), 276–98.
- Bradley, M. M., Greenwald, M. K., Petry, M. C., & Lang, P. J. (1992). Remembering pictures: pleasure and arousal in memory. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 18(2), 379–390.
- Bradley, M.M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self assessment manikin and the semantic differential *Science*, 25(I).
- Bradley, M.M. (2009). Natural selective attention: orienting and emotion. *Psychophysiology*, 46(1), 1–11.
- Bradley, M.M., Hamby, S., Löw, A., & Lang, P. J. (2007). Brain potentials in perception: picture complexity and emotional arousal. *Psychophysiology*, 44(3), 364–373.
- Bradley, M.M., Sabatinelli, D., Lang, P. J., Fitzsimmons, J. R., King, W., & Desai, P. (2003). Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behavioral neuroscience*, 117(2), 369–380.

- Brandtstädter, J. (1994). The Aging Self: Stabilizing and Protective Processes. *Developmental Review*, 14(1), 52–80.
- Briggs, K. E., & Martin, F. H. (2008). Target processing is facilitated by motivationally relevant cues. *Biological psychology*, 78(1), 29–42.
- Britton, J. C., Taylor, S. F., Sudheimer, K. D., & Liberzon, I. (2006). Facial expressions and complex IAPS pictures: common and differential networks. *NeuroImage*, 31(2), 906–919.
- Brosch, T., & Sander, D. (2013). Comment: The Appraising Brain: Towards a Neuro-Cognitive Model of Appraisal Processes in Emotion. *Emotion Review*, 5(2), 163–168.
- Brunner, P., Ritaccio, A. L., Emrich, J. F., Bischof, H., & Schalk, G. (2011). Rapid Communication with a “P300” Matrix Speller Using Electrographic Signals (ECoG). *Frontiers in neuroscience*, 5(February), 5.
- Cabeza, R., & Kingstone, A. (2001). Functional neuroimaging of cognitive aging. In *Handbook of functional neuroimaging of cognition* (Cambridge,., p. Functional neuroimaging of cognitive aging. In R.). MIT Press.
- Cacioppo, J. T., & Gardner, W. L. (1999). Emotion. *Annual review of psychology*, 50, 191–214.
- Cacioppo, J. T., Berntson, G. G., & Hawkley, L. C. (2011). Could an Aging Brain Contribute to Subjective Well-Being? The value added by a social neuroscience perspective. In A. Todorov, S. Fiske, & D. Prentice (Eds.), *Social Neuroscience: Toward Understanding the Underpinnings of the Social Mind* (New York,., pp. 249–262).
- Cacioppo, J.T., Klein, D. J., Berntson, G. G., & Hatfield, E. (1993). The psychophysiology of emotion. In M. Lewis & J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 119–142). New York, NY: Guilford Press.
- Calder, A. J. (2003). Disgust discussed. *Annals of neurology*, 53(4), 427–428.
- Cameron, P. (1975). Mood as an Indicant of Happiness: Age, Sex, Social Class, and Situational Differences. *Journal of Gerontology*, 30(2), 216–224.
- Cannon, W. B. (1927). The James-Lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory. *The American Journal of Psychology*, 39, 106–124.
- Cannon, W. B. (1931). Again the James-Lange and the thalamic theories of emotion. *Psychological Review*, 38(4), 281–295.
- Cano, M. E., Class, Q. A., & Polich, J. (2009). Affective valence, stimulus attributes, and P300: color vs. black/white and normal vs. scrambled images. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 71(1), 17–24.
- Carretié, L., Martín-Loeches, M., Hinojosa, J. a, & Mercado, F. (2001). Emotion and attention interaction studied through event-related potentials. *Journal of cognitive neuroscience*, 13(8), 1109–28.
- Carretié, L., Hinojosa, J. a, Martín-Loeches, M., Mercado, F., & Tapia, M. (2004). Automatic attention to emotional stimuli: neural correlates. *Human brain mapping*, 22(4), 290–299.
- Carretié, L., Hinojosa, J. A., López-Martín, S., & Tapia, M. (2007). An electrophysiological study on the interaction between emotional content and spatial frequency of visual stimuli. *Neuropsychologia*, 45(6), 1187–1195.
- Carretié, L., Mercado, F., Hinojosa, J. A., Martín-Loeches, M., & Sotillo, M. (2004). Valence-related vigilance biases in anxiety studied through event-related potentials. *Journal of affective disorders*, 78(2), 119–130.
- Carstensen, L.L. (1992). Social and emotional patterns in adulthood: support for socioemotional selectivity theory. *Psychology and aging*, 7(3), 331–8.

- Carstensen, L.L., Pasupathi, M., Mayr, U., & Nesselroade, J. R. (2000). Emotional experience in everyday life across the adult life span. *Journal of personality and social psychology*, 79(4), 644–655.
- Carstensen, L.L., Fung, H. H., & Charles, S. T. (2003). Socioemotional selectivity theory and the regulation of emotion in the second half of life. *Motivation and emotion*, 27(2), 103–123.
- Carstensen, L.L., Isaacowitz, D. M., & Charles, S. T. (1999). Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. *The American psychologist*, 54(3), 165–181.
- Carstensen, L.L. (1999). Taking time seriously. *American Psychologist*.
- Carstensen, L.L. , & Lang, F. (1996). Future time perspective scale. *Unpublished manuscript, Stanford University*.
- Carstensen, L.L., Turan, B., Scheibe, S., Ram, N., Ersner-Hershfield, H., Samanez-Larkin, G. R., ... Nesselroade, J. R. (2011). Emotional experience improves with age: evidence based on over 10 years of experience sampling. *Psychology and aging*, 26(1), 21–33.
- Carstensen, L.L. (1995). Evidence for a Life-Span Theory of Socioemotional Selectivity. *Current Directions in Psychological Science*, 4(5), 151–156.
- Carstensen, L.L. (2006). The influence of a sense of time on human development. *Science*, 312(5782), 1913–1915.
- Carstensen, L.L., & Mikels, J. a. (2005). At the Intersection of Emotion and Cognition. Aging and the Positivity Effect. *Current Directions in Psychological Science*, 14(3), 117–121.
- Cavada, C., & Schultz, W. (2000). The mysterious orbitofrontal cortex. foreword. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 10(3), 205.
- Cecotti, H., & Rivet, B. (2011). A robust sensor-selection method for P300 brain–computer interfaces. *Journal of Neural*
- Chanel, G., Kronegg, J., Grandjean, D., & Pun, T. (2005). Emotion Assessment : Arousal Evaluation Using EEG ’ s and Peripheral Physiological Signals. *Emotion*.
- Charles, S.T., Reynolds, C. A., & Gatz, M. (2001). Age-related differences and change in positive and negative affect over 23 years. *Journal of personality and social psychology*, 80(1), 136–151.
- Charles, S.T., Mather, M., & Carstensen, L. L. (2003). Aging and emotional memory: The forgettable nature of negative images for older adults. *Journal of experimental psychology. General*, 132(2), 310–324.
- Charles, S.T. (2010). Strength and vulnerability integration: a model of emotional well-being across adulthood. *Psychological bulletin*, 136(6), 1068–91.
- Charles, S. T., & Almeida, D. M. (2007). Genetic and environmental effects on daily life stressors: more evidence for greater variation in later life. *Psychology and aging*, 22(2), 331–40.
- Charles, S. T., Piazza, J. R., Luong, G., & Almeida, D. M. (2009). Now you see it, now you don’t: age differences in affective reactivity to social tensions. *Psychology and aging*, 24(3), 645–53.
- Chen, M., & Bargh, J. A. (1999a). Consequences of Automatic Evaluation: Immediate Behavioral Predispositions to Approach or Avoid the Stimulus. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 25(2), 215–224.
- Chen, M., & Bargh, J. A. (1999b). Consequences of Automatic Evaluation: Immediate Behavioral Predispositions to Approach or Avoid the Stimulus. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 25(2), 215–224.
- Chou, K.-L., Lee, T. M. C., & Ho, A. H. Y. (2007). Does mood state change risk taking tendency in older adults? *Psychology and aging*, 22(2), 310–318.
- Cieslik, E. C., Zilles, K., Caspers, S., Roski, C., Kellermann, T. S., Jakobs, O., ... Eickhoff, S. B. (2012). Is There “One” DLPFC in Cognitive Action Control? Evidence for

- Heterogeneity From Co-Activation-Based Parcellation. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*.
- Cincotti, F., Mattia, D., Babiloni, C., Carducci, F., Bianchi, L., del R Millán, J., ... Babiloni, F. (2002). Classification of EEG mental patterns by using two scalp electrodes and Mahalanobis distance-based classifiers. *Methods of information in medicine*, 41(4), 337–41.
- Coan, J. A., & Allen, J. J. B. (2003). Frontal EEG asymmetry and the behavioral activation and inhibition systems. *Psychophysiology*, 40(1), 106–14.
- Coats, A. H., & Blanchard-Fields, F. (2008). Emotion regulation in interpersonal problems: the role of cognitive-emotional complexity, emotion regulation goals, and expressivity. *Psychology and aging*, 23(1), 39–51.
- Codispoti, M., Ferrari, V., & Bradley, M. M. (2007). Repetition and event-related potentials: distinguishing early and late processes in affective picture perception. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(4), 577–586.
- Codispoti, M., Ferrari, V., Cesarei, A. De, & Cardinale, R. (2006). Implicit and explicit categorization of natural scenes. *Brain*, 156, 53–65.
- Comblain, C., D'Argembeau, A., & Van Der Linden, M. (2005). Phenomenal characteristics of autobiographical memories for emotional and neutral events in older and younger adults. *Experimental aging research*, 31, 173–189.
- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58(3), 306–324.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(3), 201–215.
- Cornwell, B. R., Alvarez, R. P., Lissek, S., Kaplan, R., Ernst, M., & Grillon, C. (2011). Anxiety overrides the blocking effects of high perceptual load on amygdala reactivity to threat-related distractors. *Neuropsychologia*, 49(5), 1363–1368.
- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21–27.
- Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(8), 655–666.
- Crawford, L. E., & Cacioppo, J. T. (2002). Learning where to look for danger: integrating affective and spatial information. *Psychological science*, 13(5), 449–453.
- Cunningham, J., & Gardner, E. (2007, January 27). Power, effect and sample size using GPower: practical issues for researchers and members of research ethics committees. *Evidence Based Midwifery*.
- Cuthbert, B. N., Schupp, H. T., Bradley, M. M., Birbaumer, N., & Lang, P. J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological psychology*, 52(2), 95–111.
- Damasio, A R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 351(1346), 1413–1420.
- Damsa, C., Kosel, M., & Moussally, J. (2009). Current status of brain imaging in anxiety disorders. *Current opinion in psychiatry*, 22(1), 96–110.
- Darwin, C. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals*.
- Davidson, R. J. (1992). EMOTION AND AFFECTIVE STYLE: Hemispheric Substrates. *Psychological Science*, 3(1), 39–43.
- Davidson, R. J. (1998). Affective Style and Affective Disorders: Perspectives from Affective Neuroscience. *Cognition & Emotion*, 12(3), 307–330.

- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 18(5), 1201–9.
- Davis, J. A., & Smith, T. W. (1995). *General social surveys, 1972- 1994: Cumulative file (ICPSR 6217) [Electronic database]*.
- De Cesarei, A., & Codispoti, M. (2006). When does size not matter? Effects of stimulus size on affective modulation. *Psychophysiology*, 43(2), 207–215.
- De Cesarei, A., & Codispoti, M. (2011). Affective modulation of the LPP and α -ERD during picture viewing. *Psychophysiology*, 48(10), 1397–1404.
- De Meersman, R. E., & Stein, P. K. (2007). Vagal modulation and aging. *Biological psychology*, 74(2), 165–73.
- De Raedt, R., & Ponjaert-Kristoffersen, I. (2006). Self-serving appraisal as a cognitive coping strategy to deal with age-related limitations: an empirical study with elderly adults in a real-life stressful situation. *Aging & mental health*, 10(2), 195–203.
- Delplanque, S., Lavoie, M., Hot, P., Silvert, L., & Sequeira, H. (2004). Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans. *Neuroscience letters*, 356(1), 1–4.
- Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., Rigoulot, S., & Sequeira, H. (2006). Arousal and valence effects on event-related P3a and P3b during emotional categorization. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 60(3), 315–22.
- Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., & Sequeira, H. (2005). Event-related P3a and P3b in response to unpredictable emotional stimuli. *Biological psychology*, 68(2), 107–20.
- Denburg, N. L., Tranel, D., & Bechara, A. (2005). The ability to decide advantageously declines prematurely in some normal older persons. *Neuropsychologia*, 43(7), 1099–106.
- Denburg, N. L., Buchanan, T. W., Tranel, D., & Adolphs, R. (2003). Evidence for preserved emotional memory in normal older persons. *Emotion (Washington, D.C.)*, 3(3), 239–53.
- Denburg, N. L., Cole, C. a, Hernandez, M., Yamada, T. H., Tranel, D., Bechara, A., & Wallace, R. B. (2007). The orbitofrontal cortex, real-world decision making, and normal aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1121, 480–98.
- Denburg, N. L., Recknor, E. C., Bechara, A., & Tranel, D. (2006). Psychophysiological anticipation of positive outcomes promotes advantageous decision-making in normal older persons. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 61(1), 19–25.
- Di Russo, F., Martínez, A., & Hillyard, S. A. (2003). Source analysis of event-related cortical activity during visuo-spatial attention. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 13(5), 486–499.
- Di Russo, F., Taddei, F., Aprile, T., & Spinelli, D. (2006). Neural correlates of fast stimulus discrimination and response selection in top-level fencers. *Neuroscience letters*, 408(2), 113–118.
- Dodt, C., Theine, K.-J., Uthgenannt, D., Born, J., & Fehm, H. L. (1994). Basal secretory activity of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis is enhanced in healthy elderly. An assessment during undisturbed night-time sleep. *European Journal of Endocrinology*, 131(5), 443–450.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 298(5596), 1191–1194.
- Dolcos, F., & Cabeza, R. (2002). Event-related potentials of emotional memory: encoding pleasant, unpleasant, and neutral pictures. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 2(3), 252–263.

- Eastwood, J. D., Smilek, D., & Merikle, P. M. (2001). Differential attentional guidance by unattended faces expressing positive and negative emotion. *Perception & psychophysics*, 63(6), 1004–1013.
- Eder, A. B., & Hommel, B. (2013). Anticipatory Control of Approach and Avoidance: An Ideomotor Approach. *Emotion Review*, 5(3), 275–279.
- Eichenbaum, H., & Cohen, N. J. (1995). *Memory, Amnesia, and the Hippocampal System*. MIT Press.
- Eimer, M., Cockburn, D., Smedley, B., & Driver, J. (2001). Cross-modal links in endogenous spatial attention are mediated by common external locations: evidence from event-related brain potentials. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 139(4), 398–411.
- Eippert, F., Veit, R., Weiskopf, N., Erb, M., Birbaumer, N., & Anders, S. (2007). Regulation of emotional responses elicited by threat-related stimuli. *Human brain mapping*, 28(5), 409–423.
- Ekman, P., Friesen, W. V., O’Sullivan, M., Chan, A., Diacoyanni-Tarlatzis, I., Heider, K., ... Ricci-Bitti, P. E. (1987). Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of personality and social psychology*, 53(4), 712–717.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6(3), 169–200.
- Ekman, P., & Davidson, R. J. (1994). *The nature of emotion: Fundamental questions. Series in affective science*. (Paul Ekman & R. J. Davidson, Eds.). New York, NY: Oxford University Press.
- Elliot, A. J. (2008a). Approach and Avoidance Motivation. In A. J. Elliot (Ed.), *Handbook of Approach and Avoidance Motivation*. (pp. 3–14). New York, NY US: Psychology Press.
- Elliot, A. J. (2008b). Approach and Avoidance Motivation. In A. J. Elliot (Ed.), *Handbook of Approach and Avoidance Motivation*. (pp. 3–14). New York, NY US: Psychology Press.
- Emery, L., & Hess, T. M. (2008). Viewing instructions impact emotional memory differently in older and young adults. *Psychology and aging*, 23(1), 2–12.
- Emery, L., & Hess, T. M. (2011). Cognitive consequences of expressive regulation in older adults. *Psychology and aging*, 26(2), 388–96.
- Eppinger, B., Hämmerer, D., & Li, S.-C. (2011). Neuromodulation of reward-based learning and decision making in human aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1235, 1–17.
- Eppinger, B., & Kray, J. (2011). To choose or to avoid: age differences in learning from positive and negative feedback. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(1), 41–52.
- Erdfelder, E., Faul, F., & Buchner, A. (1996). GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 28(1), 1–11.
- Erk, S., Walter, H., & Abler, B. (2008). Age-related physiological responses to emotion anticipation and exposure. *Neuroreport*, 19(4), 447–52.
- Ethofer, T., Breitscher, J., Gschwind, M., Kreifelts, B., Wildgruber, D., & Vuilleumier, P. (2012). Emotional voice areas: anatomic location, functional properties, and structural connections revealed by combined fMRI/DTI. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 22(1), 191–200.
- Ethofer, T., Van De Ville, D., Scherer, K., & Vuilleumier, P. (2009). Decoding of emotional information in voice-sensitive cortices. *Current biology : CB*, 19(12), 1028–1033.
- Etkin, A., & Wager, T. D. (2007). Functional neuroimaging of anxiety: a meta-analysis of emotional processing in PTSD, social anxiety disorder, and specific phobia. *The American journal of psychiatry*, 164(10), 1476–88.
- Farroni, T., Menon, E., Rigato, S., & Johnson, M. H. (2007). The perception of facial expressions in newborns. *The European journal of developmental psychology*, 4(1), 2–13.

- Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 70(6), 510–523.
- Fazli, S., Mehnert, J., Steinbrink, J., Curio, G., Villringer, A., Müller, K.-R., & Blankertz, B. (2012). Enhanced performance by a hybrid NIRS-EEG brain computer interface. *NeuroImage*, 59(1), 519–529.
- Feinstein, J. S., Adolphs, R., Damasio, A., & Tranel, D. (2011). The human amygdala and the induction and experience of fear. *Current biology : CB*, 21(1), 34–38.
- Ferrari, A. U., Radaelli, A., & Centola, M. (2003). Invited review: aging and the cardiovascular system. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 95(6), 2591–7.
- Ferrari, V., Bradley, M. M., Codispoti, M., & Lang, P. J. (2011). Repetitive exposure: brain and reflex measures of emotion and attention. *Psychophysiology*, 48(4), 515–522.
- Ferrari, V., Codispoti, M., Cardinale, R., & Bradley, M. M. (2008). Directed and motivated attention during processing of natural scenes. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(10), 1753–61.
- Ferris, C. F., Stolberg, T., Kulkarni, P., Murugavel, M., Blanchard, R., Blanchard, D. C., ... Simon, N. G. (2008). Imaging the neural circuitry and chemical control of aggressive motivation. *BMC neuroscience*, 9, 111.
- Filipp, S.-H. (1996). Motivation and emotion. In *Handbook of the psychology of aging (4th ed.)*. The handbooks of aging. (pp. 218–235).
- Fischer, H., Sandblom, J., Gavazzeni, J., Fransson, P., Wright, C. I., & Bäckman, L. (2005). Age-differential patterns of brain activation during perception of angry faces. *Neuroscience letters*, 386(2), 99–104.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 18(4), 1030–1044.
- Folkow, B., & Svanborg, A. (1993). Physiology of cardiovascular aging. *Physiological reviews*, 73(4), 725–64.
- Foster, S. M., Davis, H. P., & Kisley, M. a. (2013). Brain responses to emotional images related to cognitive ability in older adults. *Psychology and aging*, 28(1), 179–90.
- Frijda, N.H., & Mesquita, B. (1994). The social roles and functions of emotions. In S. Kitayama & H. R. Markus (Eds.), *Emotion and culture* (pp. 51–87). American Psychological Association.
- Frijda, Nico H. (2010). Impulsive action and motivation. *Biological psychology*, 84(3), 570–9.
- Frijda, Nico H, Kuipers, P., & Schure, E. (1989). Relations Among Emotion , Appraisal , and Emotional Action Readiness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(2), 212–228.
- Frijda, N. H. (1986). *The emotions. Studies in emotion and social interaction*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Frijda, N. H., & Tcherkassof, A. (1997). Facial expressions as modes of action readiness. In J. A. Russell & J. M. Fernández-Dols (Eds.), *The psychology of facial expression. Studies in emotion and social interaction, 2nd series*. (pp. 78–102). New York, NY: Cambridge University Press.
- Fung, H. H., & Carstensen, L. L. (2003). Sending memorable messages to the old: Age differences in preferences and memory for advertisements. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(1), 163–178.
- Gable, P., & Harmon-Jones, E. (2008). Relative left frontal activation to appetitive stimuli: considering the role of individual differences. *Psychophysiology*, 45(2), 275–8.

- Gable, P., & Harmon-Jones, E. (2010). The motivational dimensional model of affect: Implications for breadth of attention, memory, and cognitive categorisation. *Cognition & Emotion*, 24(2), 322–337.
- Garcia-Molina, G., Tsoneva, T., & Nijholt, A. (2013). Emotional brain–computer interfaces. *International Journal of ...*
- Garrett, D., Peterson, D. A., Anderson, C. W., & Thaut, M. H. (2003). Comparison of linear, nonlinear, and feature selection methods for EEG signal classification. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 11(2), 141–4.
- Gee, D. G., Humphreys, K. L., Flannery, J., Goff, B., Telzer, E. H., Shapiro, M., ... Tottenham, N. (2013). A developmental shift from positive to negative connectivity in human amygdala-prefrontal circuitry. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(10), 4584–4593.
- George, L., & Lécuyer, A. (2010). An overview of research on 'passive' brain-computer interfaces for implicit human-computer interaction. *International Conference on ...*
- Gherri, E., & Eimer, M. (2010). Active Listening Impairs Visual Perception and Selectivity : An ERP Study of Auditory Dual-task Costs on Visual Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 832–844.
- Goeleven, E., De Raedt, R., & Dierckx, E. (2010). The positivity effect in older adults: the role of affective interference and inhibition. *Aging & mental health*, 14(2), 129–37.
- Goldin, P. R., McRae, K., Ramel, W., & Gross, J. J. (2008). The neural bases of emotion regulation: reappraisal and suppression of negative emotion. *Biological psychiatry*, 63(6), 577–586.
- Golub, G., & Kahan, W. (1965). Calculating the Singular Values and Pseudo-Inverse of a Matrix. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics Series B Numerical Analysis*, 2(2), 205–224.
- Goodkind, M. S., Sollberger, M., Gyurak, A., Rosen, H. J., Rankin, K. P., Miller, B., & Levenson, R. (2012). Tracking emotional valence: the role of the orbitofrontal cortex. *Human brain mapping*, 33(4), 753–762.
- Gotlib, I. H., & Hamilton, J. P. (2008). Neuroimaging and Depression: Current Status and Unresolved Issues. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2), 159–163.
- Grady, C. L. (2008). Cognitive neuroscience of aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 127–144.
- Grady, C. L., Springer, M. V., Hongwanishkul, D., McIntosh, A. R., & Winocur, G. (2006). Age-related changes in brain activity across the adult lifespan. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(2), 227–41.
- Grady, C., & Maisog, J. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *The Journal of ...*, 14(3), 1450–1462.
- Grandjean, D., Sander, D., Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Scherer, K. R., & Vuilleumier, P. (2005). The voices of wrath: brain responses to angry prosody in meaningless speech. *Nature neuroscience*, 8(2), 145–146.
- Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2008). Unpacking the cognitive architecture of emotion processes. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(3), 341–351.
- Gross, J.J. (1998). Antecedent- and response-focused emotion regulation: divergent consequences for experience, expression, and physiology. *Journal of personality and social psychology*, 74(1), 224–37.
- Gross, J.J. (2002). Emotion regulation: affective, cognitive, and social consequences. *Psychophysiology*, 39(3), 281–291.

- Gross, J.J., Carstensen, L. L., Pasupathi, M., Tsai, J., Skorpen, C. G., & Hsu, a Y. (1997). Emotion and aging: experience, expression, and control. *Psychology and aging*, 12(4), 590–599.
- Gruhn, D., & Scheibe, S. (2008). Age-related differences in valence and arousal ratings of pictures from the International Affective Picture System (IAPS): Do ratings become more extreme with age? *Behavior research methods*, 40(2), 512–521.
- Grühn, D., Scheibe, S., & Baltes, P. B. (2007). Reduced negativity effect in older adults' memory for emotional pictures: the heterogeneity-homogeneity list paradigm. *Psychology and aging*, 22(3), 644–649.
- Grühn, D., Smith, J., & Baltes, P. B. (2005). No aging bias favoring memory for positive material: evidence from a heterogeneity-homogeneity list paradigm using emotionally toned words. *Psychology and aging*, 20(4), 579–88.
- Gunning-Dixon, F. M., Gur, R. C. R. E., Perkins, A. C., Schroeder, L., Turner, T., Turetsky, B. I., ... Maldjian, J. (2003). Age-related differences in brain activation during emotional face processing. *Neurobiology of aging*, 24(2), 285–295.
- Gusnard, D. A., Akbudak, E., Shulman, G. L., & Raichle, M. E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(7), 4259–64.
- Gutchess, A. H., Kensinger, E. a, & Schacter, D. L. (2007). Aging, self-referencing, and medial prefrontal cortex. *Social neuroscience*, 2(2), 117–33.
- Hajcak, G., Dunning, J. P., & Foti, D. (2007). Neural response to emotional pictures is unaffected by concurrent task difficulty: an event-related potential study. *Behavioral neuroscience*, 121(6), 1156–62.
- Hajcak, G., Dunning, J. P., & Foti, D. (2009). Motivated and controlled attention to emotion: time-course of the late positive potential. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 120(3), 505–10.
- Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review. *Developmental neuropsychology*, 35(2), 129–55.
- Hajcak, G., Moser, J. S., & Simons, R. F. (2006). Attending to affect: appraisal strategies modulate the electrocortical response to arousing pictures. *Emotion (Washington, D.C.)*, 6(3), 517–22.
- Hajcak, G., & Nieuwenhuis, S. (2006). Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 6(4), 291–297.
- Hamann, S. (2012). Mapping discrete and dimensional emotions onto the brain: controversies and consensus. *Trends in cognitive sciences*, 16(9), 458–66.
- Hansen, C. H., & Hansen, R. D. (1988). Finding the face in the crowd: An anger superiority effect. *ournal of Personality and Social Psychology*, 54, 917–924.
- Hare, T. A., Tottenham, N., Galvan, A., Voss, H. U., Glover, G. H., & Casey, B. J. (2008). Biological substrates of emotional reactivity and regulation in adolescence during an emotional go-nogo task. *Biological psychiatry*, 63(10), 927–34.
- Hariri, A. R., Mattay, V. S., Tessitore, A., Fera, F., & Weinberger, D. R. (2003). Neocortical modulation of the amygdala response to fearful stimuli. *Biological psychiatry*, 53(6), 494–501.
- Harmon-Jones, E. (2003). Clarifying the emotive functions of asymmetrical frontal cortical activity. *Psychophysiology*, 40(6), 838–848.
- Harmon-Jones, E. (2004). Contributions from research on anger and cognitive dissonance to understanding the motivational functions of asymmetrical frontal brain activity. *Biological psychology*, 67(1-2), 51–76.

- Harmon-Jones, E. (2006). Unilateral right-hand contractions cause contralateral alpha power suppression and approach motivational affective experience. *Psychophysiology*, 43(6), 598–603.
- Harmon-Jones, E., & Gable, P. a. (2009). Neural activity underlying the effect of approach-motivated positive affect on narrowed attention. *Psychological science*, 20(4), 406–9.
- Haug, H., Barmwater, U., Eggers, R., Fischer, D., Kuhl, S., & Sass, N. L. (1983). Anatomical changes in aging brain: Morphometric analysis of the human prosencephalon. In J. Cervo (Ed.), *Brain Aging: Neuropathology and Neuropharmacology* (New York:, pp. 1–12).
- Haug, M., Belgrave, L., & Gratton, B. (1984). Mental health and the elderly: Factors in stability and change over time. *Journal of health and social behavior*, 25, 100–115.
- Hicks, J. a, Trent, J., Davis, W. E., & King, L. a. (2012). Positive affect, meaning in life, and future time perspective: an application of socioemotional selectivity theory. *Psychology and aging*, 27(1), 181–9.
- Hillyard, S. A., Teder-Sälejärvi, W. A., & Münte, T. F. (1998). Temporal dynamics of early perceptual processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2), 202–210.
- Holzner, C., Guger, C., Edlinger, G., Gronegess, C., & Slater, M. (2009). Virtual Smart Home Controlled by Thoughts. In *2009 18th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises* (pp. 236–239). IEEE.
- Hopf, J. M., & Mangun, G. R. (2000). Shifting visual attention in space: an electrophysiological analysis using high spatial resolution mapping. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 111(7), 1241–1257.
- Hopfinger, J. B., & West, V. M. (2006). Interactions between endogenous and exogenous attention on cortical visual processing. *NeuroImage*, 31(2), 774–789.
- Hot, P., Saito, Y., Mandai, O., Kobayashi, T., & Sequeira, H. (2006). An ERP investigation of emotional processing in European and Japanese individuals. *Brain research*, 1122(1), 171–8.
- Hsu, W.-Y. (2011). Continuous EEG signal analysis for asynchronous BCI application. *International journal of neural systems*, 21(4), 335–50.
- Ichihara-Takeda, S., & Funahashi, S. (2008). Activity of primate orbitofrontal and dorsolateral prefrontal neurons: effect of reward schedule on task-related activity. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(4), 563–79.
- Iidaka, T., Okada, T., Murata, T., Omori, M., Kosaka, H., Sadato, N., & Yonekura, Y. (2002). Age-related differences in the medial temporal lobe responses to emotional faces as revealed by fMRI. *Hippocampus*, 12(3), 352–62.
- Isaacowitz, D. M., Allard, E. S., Murphy, N. a, & Schlangel, M. (2009). The time course of age-related preferences toward positive and negative stimuli. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 64(2), 188–92.
- Isaacowitz, D. M., Gershon, A., Allard, E. S., & Johnson, S. L. (2013). Emotion in Aging and Bipolar Disorder: Similarities, Differences, and Lessons for Further Research. *Emotion Review*, 5(3), 312–320.
- Isaacowitz, D. M., Toner, K., Goren, D., & Wilson, H. R. (2008). Mood-Congruent Gaze in Young Adults, Positive Gaze in Older Adults. *Psychological science*, 19(9), 848–854.
- Isaacowitz, D. M., Toner, K., & Neupert, S. D. (2009). Use of gaze for real-time mood regulation: effects of age and attentional functioning. *Psychology and Aging*, 24(4), 989–994.
- Isaacowitz, D. M., Wadlinger, H. a, Goren, D., & Wilson, H. R. (2006a). Selective preference in visual fixation away from negative images in old age? An eye-tracking study. *Psychology and Aging*, 21(1), 40–48.

- Isaacowitz, D. M., Wadlinger, H. a, Goren, D., & Wilson, H. R. (2006b). Is there an age-related positivity effect in visual attention? A comparison of two methodologies. *Emotion*, 6(3), 511–516.
- Ito, T. A., & Cacioppo, J. T. (2005). Variations on a human universal: Individual differences in positivity offset and negativity bias. *Cognition and Emotion*, 19(1), 1–26.
- Ito, T. A., Larsen, J. T., Smith, N. K., & Cacioppo, J. T. (1998). Negative information weighs more heavily on the brain: the negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(4), 887–900.
- Izard, C. E. (1971). *The face of emotion* (p. 468).
- Izard, C. E. (1977). *Human Emotions* (p. 495). Springer.
- James, W. (1884). II.—What is an emotion? *Mind*, 13(34), 188–205.
- Jasper, H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371–375.
- John, O. P., & Gross, J. J. (2004). Healthy and unhealthy emotion regulation: Personality processes, individual differences, and life span development. *Journal of Personality*, 72(6), 1301–1333.
- Joormann, J. (2004). Attentional bias in dysphoria: The role of inhibitory processes. *Cognition & Emotion*, 18(1), 125–147.
- Jopp, D., & Rott, C. (2006). Adaptation in very old age: exploring the role of resources, beliefs, and attitudes for centenarians' happiness. *Psychology and aging*, 21(2), 266–280.
- Jrad, N., & Congedo, M. (2012). Identification of spatial and temporal features of EEG. *Neurocomputing*, 90, 66–71.
- Junghöfer, M., Bradley, M. M., Elbert, T. R., & Lang, P. J. (2001). Fleeting images: a new look at early emotion discrimination. *Psychophysiology*, 38(2), 175–178.
- Kanske, P., Plitschka, J., & Kotz, S. a. (2011). Attentional orienting towards emotion: P2 and N400 ERP effects. *Neuropsychologia*, 49(11), 3121–9.
- Kawasaki, H., Kaufman, O., Damasio, H., Damasio, A. R., Granner, M., Bakken, H., ... Adolphs, R. (2001). Single-neuron responses to emotional visual stimuli recorded in human ventral prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 4(1), 15–6.
- Keightley, M. L., Winocur, G., Graham, S. J., Mayberg, H. S., Hevenor, S. J., & Grady, C. L. (2003). An fMRI study investigating cognitive modulation of brain regions associated with emotional processing of visual stimuli. *Neuropsychologia*, 41(5), 585–596.
- Keil, A., Müller, M. M., Gruber, T., Wienbruch, C., Stolarova, M., & Elbert, T. (2001). Effects of emotional arousal in the cerebral hemispheres: a study of oscillatory brain activity and event-related potentials. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 112(11), 2057–2068.
- Keil, Andreas, Bradley, M. M., Hauk, O., Rockstroh, B., Elbert, T., & Lang, P. J. (2002). Large-scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology*, 39(5), 641–649.
- Keil, Andreas, & Freund, A. M. (2009). Changes in the sensitivity to appetitive and aversive arousal across adulthood. *Psychology and aging*, 24(3), 668–680.
- Keil, Andreas, & Ihssen, N. (2004). Identification facilitation for emotionally arousing verbs during the attentional blink. *Emotion (Washington, D.C.)*, 4(1), 23–35.
- Kennedy, K. M., & Raz, N. (2009). Aging white matter and cognition: differential effects of regional variations in diffusion properties on memory, executive functions, and speed. *Neuropsychologia*, 47(3), 916–27.
- Kennedy, Q., Mather, M., & Carstensen, L. L. (2004). The Role of Motivation in the Age-Related Positivity Effect in Autobiographical Memory. *Psychological Science*, 15(3), 208–214.

- Kensinger, E. A. (2008). Age differences in memory for arousing and nonarousing emotional words. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 63(1), 13–18.
- Kensinger, E. A., & Schacter, D. L. (2008). Neural processes supporting young and older adults' emotional memories. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(7), 1161–73.
- Kensinger, E. A., Brierley, B., Medford, N., Growdon, J. H., & Corkin, S. (2002). Effects of normal aging and Alzheimer's disease on emotional memory. *Emotion*, 2(2), 118–134.
- Kensinger, E. A., Schacter, D. L., College, B., & Hill, C. (2006). Processing emotional pictures and words : Effects of valence and arousal avocado. *Behavioral Neuroscience*, 6(2), 110–126.
- Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2004). Two routes to emotional memory: Distinct neural processes for valence and arousal. *National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3310–3315.
- Khosrowabadi, R., Quek, H. C., Wahab, A., & Ang, K. K. (2010). EEG-based Emotion Recognition Using Self-Organizing Map for Boundary Detection. *2010 20th International Conference on Pattern Recognition*, 4242–4245.
- Killgore, W. D. S., & Yurgelun-Todd, D. A. (2004). Activation of the amygdala and anterior cingulate during nonconscious processing of sad versus happy faces. *NeuroImage*, 21(4), 1215–1523.
- Kim, S., Healey, M. K., Goldstein, D., Hasher, L., & Wiprzycka, U. J. (2008). Age differences in choice satisfaction: a positivity effect in decision making. *Psychology and aging*, 23(1), 33–8.
- Kirmizi-Alsan, E., Bayraktaroglu, Z., Gurvit, H., Keskin, Y. H., Emre, M., & Demiralp, T. (2006). Comparative analysis of event-related potentials during Go/NoGo and CPT: decomposition of electrophysiological markers of response inhibition and sustained attention. *Brain research*, 1104(1), 114–128.
- Kisley, M. A., Wood, S., & Burrows, C. L. (2007). Looking at the sunny side of life: age-related change in an event-related potential measure of the negativity bias. *Psychological Science*, 18(9), 838–843.
- Kleinginna, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5(4), 345–379.
- Kliegel, M., Jäger, T., & Phillips, L. H. (2007). Emotional development across adulthood: differential age-related emotional reactivity and emotion regulation in a negative mood induction procedure. *International journal of aging & human development*, 64(3), 217–44.
- Knight, M., Seymour, T. L., Gaunt, J. T., Baker, C., Nesmith, K., & Mather, M. (2007). Aging and goal-directed emotional attention: distraction reverses emotional biases. *Emotion*, 7(4), 705–714.
- Kobayashi, S., Lauwereyns, J., Koizumi, M., Sakagami, M., & Hikosaka, O. (2002). Influence of reward expectation on visuospatial processing in macaque lateral prefrontal cortex. *Journal of neurophysiology*, 87(3), 1488–1498.
- Koelstra, S., Yazdani, A., Soleymani, M., & Mühl, C. (2010). Single trial classification of EEG and peripheral physiological signals for recognition of emotions induced by music videos. *Brain Informatics*, 1–12.
- Koenigs, M., Huey, E. D., Raymont, V., Cheon, B., Solomon, J., Wassermann, E. M., & Grafman, J. (2008). Focal brain damage protects against post-traumatic stress disorder in combat veterans. *Nature neuroscience*, 11(2), 232–237.
- Koles, Z. J. (1991). The quantitative extraction and topographic mapping of the abnormal components in the clinical EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79(6), 440–447.

- Korb, S. (2009). La régulation des émotions. In D Sander & K. R. Scherer (Eds.), *Traité de psychologie des émotions* (pp. 258–288). Paris: Dunod.
- Koster, E. H. W., Crombez, G., Verschuere, B., & De Houwer, J. (2004). Selective attention to threat in the dot probe paradigm: differentiating vigilance and difficulty to disengage. *Behaviour research and therapy*, 42(10), 1183–1192.
- Koster, E. H. W., Verschuere, B., Crombez, G., & Van Damme, S. (2005). Time-course of attention for threatening pictures in high and low trait anxiety. *Behaviour research and therapy*, 43(8), 1087–1098.
- Krolak-Salmon, P., Fischer, C., Vighetto, A., & Mauguière, F. (2001). Processing of facial emotional expression: spatio-temporal data as assessed by scalp event-related potentials. *The European journal of neuroscience*, 13(5), 987–994.
- Krusienski, D. J. D., Sellers, E. W., Cabestaing, F., Bayoudh, S., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2006). A comparison of classification techniques for the P300 Speller. *Journal of neural ...*, 3(4), 299–305.
- Kunzmann, U., Kupperbusch, C. S., & Levenson, R. W. (2005). Behavioral inhibition and amplification during emotional arousal: a comparison of two age groups. *Psychology and aging*, 20(1), 144–58.
- Kwon, Y., Scheibe, S., Samanez-Larkin, G. R., Tsai, J. L., & Carstensen, L. L. (2009). Replicating the positivity effect in picture memory in Koreans: Evidence for cross-cultural generalizability. *Psychology and ...*, 24(3), 748–754.
- Labouvie-Vief, G. (2003). Dynamic integration: affect, cognition, and the self in adulthood. *Current Directions in Psychological Science*, 12(6), 201–206.
- Labouvie-Vief, G. (2008). When differentiation and negative affect lead to integration and growth. *American Psychologist*, 63(6), 564–565.
- Labouvie-Vief, G., Grünh, D., & Studer, J. (2010). Dynamic Integration of Emotion and Cognition: Equilibrium Regulation in Development and Aging. In R. M. Lerner, M. E. Lamb, & A. M. Freund (Eds.), *The Handbook of Life-Span Development*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Lamonica, H. M., Keefe, R. S. E., Harvey, P. D., Gold, J. M., & Goldberg, T. E. (2010). Differential effects of emotional information on interference task performance across the life span. *Frontiers in aging neuroscience*, 2.
- Lang, F. R., & Carstensen, L. L. (2002). Time counts: future time perspective, goals, and social relationships. *Psychology and aging*, 17(1), 125–39.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1990). Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychological review*, 97(3), 377–395.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., & Nangia, V. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: an fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35(2), 199–210.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings. *Psychology*.
- Lang, P. J., & Bradley, M. M. (2010). Emotion and the motivational brain. *Biological psychology*, 131(3), 437–450.
- Lang, P. J. (1994). The motivational organization of emotion: Affect-reflex connections. In S. H. M. van Goozen, N. E. Van de Poll, & J. A. Sergeant (Eds.), *Emotions: Essays on emotion theory* (pp. 61–93). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lang, Peter J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1992). A MOTIVATIONAL ANALYSIS OF EMOTION: Reflex-Cortex Connections. *Psychological Science*, 3(1), 44–49.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1998). Emotion, motivation, and anxiety: brain mechanisms and psychophysiology. *Biological Psychiatry*, 44(12), 1248–1263.

- Langeslag, S. J. E., & Van Strien, J. W. (2008). Age differences in the emotional modulation of ERP old/new effects. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 70(2), 105–114.
- Langeslag, S. J. E., & van Strien, J. W. (2009). Aging and emotional memory: the co-occurrence of neurophysiological and behavioral positivity effects. *Emotion (Washington, D.C.)*, 9(3), 369–77.
- Langeslag, S. J. E., & Van Strien, J. W. (2010). Comparable Modulation of the Late Positive Potential by Emotion Regulation in Younger and Older Adults. *Journal of psychophysiology*, 24(3), 186–197.
- Langley, L. K., Rokke, P. D., Stark, A. C., Saville, A. L., Allen, J. L., & Bagne, A. G. (2008). The emotional blink: adult age differences in visual attention to emotional information. *Psychology and aging*, 23(4), 873–85.
- Larson, R. (1978). Thirty years of research on the subjective well-being of older Americans. *Journal of gerontology*, 33, 109–125.
- Lawton, M. P., Kleban, M. H., Rajagopal, D., & Dean, J. (1992). Dimensions of affective experience in three age groups. *Psychology and aging*, 7(2), 171–84.
- Lazarus, R. (1991). *Emotion and adaptation*.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, Appraisal, and Coping (Livre numérique Google)* (Vol. 1984). New York, NY: Springer Pub. Co.
- Leclerc, C., & Kensinger, E. (2008). Age-related differences in medial prefrontal activation in response to emotional images. *Cognitive, Affective, & Behavioral ...*, 8(2), 153–164.
- Leclerc, C. M., & Kensinger, E. a. (2008). Effects of age on detection of emotional information. *Psychology and aging*, 23(1), 209–15.
- Leclerc, C. M., & Kensinger, E. a. (2011). Neural processing of emotional pictures and words: a comparison of young and older adults. *Developmental neuropsychology*, 36(4), 519–38.
- Ledoit, O., & Wolf, M. (2004). A well-conditioned estimator for large-dimensional covariance matrices. *Journal of Multivariate Analysis*, 88(2), 365–411.
- LeDoux, J. E (1996). *The Emotional Brain*. (N. Y. S. & Schuster, Ed.).
- LeDoux, J. E. (1995). Emotion: clues from the brain. *Annual review of psychology*, 46, 209–235.
- LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual review of neuroscience*, 23, 155–84.
- Lee, L. O., & Knight, B. G. (2009). Attentional bias for threat in older adults: moderation of the positivity bias by trait anxiety and stimulus modality. *Psychology and aging*, 24(3), 741–7.
- Lee, Y.-C., Lee, J. D., & Ng Boyle, L. (2009). The Interaction of Cognitive Load and Attention-Directing Cues in Driving. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51(3), 271–280.
- Lehmann, D., & Skrandies, W. (1980). Reference-free identification of components of checkerboard-evoked multichannel potential fields. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 48(6), 609–21.
- Leigland, L. a, Schulz, L. E., & Janowsky, J. S. (2004). Age related changes in emotional memory. *Neurobiology of aging*, 25(8), 1117–24.
- Levenson, R. W. (1999). The Intrapersonal Functions of Emotion. *Cognition & Emotion*, 13(5), 481–504.
- Leventhal, H., & Scherer, K. (1987). The Relationship of Emotion to Cognition: A Functional Approach to a Semantic Controversy. *Cognition & Emotion*, 1(1), 3–28.
- Liberzon, I., Phan, K. L., Decker, L. R., & Taylor, S. F. (2003). Extended amygdala and emotional salience: a PET activation study of positive and negative affect.

- Neuropsychopharmacology : official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 28(4), 726–33.
- Linden, D. E. J. (2005). The p300: where in the brain is it produced and what does it tell us? *The Neuroscientist : a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, 11(6), 563–76.
- Lindquist, K. A., Wager, T. D., Kober, H., Bliss-moreau, E., & Barrett, L. F. (2011). The brain basis of emotion : A meta-analytic review. *Behavioral and Brain Sciences*, 1–86.
- Liu, Y., Sourina, O., & Nguyen, M. K. (2010). Real-Time EEG-Based Human Emotion Recognition and Visualization. *2010 International Conference on Cyberworlds*, 262–269.
- Löckenhoff, C. E., & Carstensen, L. L. (2007). Aging, emotion, and health-related decision strategies: motivational manipulations can reduce age differences. *Psychology and aging*, 22(1), 134–146.
- Löckenhoff, C. E., & Carstensen, L. L. (2008). Decision Strategies in Healthcare Choices for Self and Others: Older Adults Make Adjustments for the Age of the Decision Target, Younger Adults Do Not. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 63(2), 106–109.
- Lotte, F., van Erp, J. B. F., & Tangermann, M. (2012). Brain computer interfaces: Beyond Medical Applications. *Computer*, 45(4), 26–34.
- MacKay, D. G., Shafto, M., Taylor, J. K., Marian, D. E., Abrams, L., & Dyer, J. R. (2004). Relations between emotion, memory, and attention: evidence from taboo stroop, lexical decision, and immediate memory tasks. *Memory & cognition*, 32(3), 474–88.
- MacLeod, C., Mathews, A., & Tata, P. (1986). Attentional bias in emotional disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 95(1), 15–20.
- Macpherson, S. E., Phillips, L. H., & Sala, S. Della. (2002). Age , Executive Function , and Social Decision Making : A Dorsolateral Prefrontal Theory of Cognitive Aging. *Psychology and Aging*, 17(4), 598–609.
- Magai, C., Consedine, N. S., Krivoshekova, Y. S., Kudadjie-Gyamfi, E., & McPherson, R. (2006). Emotion experience and expression across the adult life span: insights from a multimodal assessment study. *Psychology and aging*, 21(2), 303–17.
- Mandel, C., Luth, T., Laue, T., Rofer, T., Graser, A., & Krieg-Bruckner, B. (2009). Navigating a smart wheelchair with a brain-computer interface interpreting steady-state visual evoked potentials. In *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 1118–1125). IEEE.
- Martínez, A., Anllo-Vento, L., Sereno, M. I., Frank, L. R., Buxton, R. B., Dubowitz, D. J., ... Hillyard, S. A. (1999). Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nature neuroscience*, 2(4), 364–369.
- Mather, M. (2012). The emotion paradox in the aging brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1251, 33–49.
- Mather, M., Canli, T., English, T., Whitfield, S., Wais, P., Ochsner, K., ... Carstensen, L. L. (2004). Amygdala responses to emotionally valenced stimuli in older and younger adults. *Psychological science*, 15(4), 259–63.
- Mather, M., & Carstensen, L. L. (2003). Aging and attentional biases for emotional faces. *Psychological science*, 12(6), 761–763.
- Mather, M., & Carstensen, L. L. (2005). Aging and motivated cognition: the positivity effect in attention and memory. *Trends in cognitive sciences*, 9(10), 496–502.
- Mather, M., & Knight, M. (2005). Goal-directed memory: the role of cognitive control in older adults' emotional memory. *Psychology and aging*, 20(4), 554–70.

- Mather, M., Knight, M., & McCaffrey, M. (2005). The allure of the alignable: younger and older adults' false memories of choice features. *Journal of experimental psychology. General*, 134(1), 38–51.
- Mather, M., & Knight, M. R. (2006). Angry faces get noticed quickly: threat detection is not impaired among older adults. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 61(1), 54–57.
- Mather, M., Mazar, N., Gorlick, M. a, Lighthall, N. R., Burgeno, J., Schoeke, A., & Ariely, D. (2012). Risk preferences and aging: The “certainty effect” in older adults' decision making. *Psychology and aging*, 27(4), 801–16.
- Mathews, A., Yiend, J., & Lawrence, A. D. (2004). Individual differences in the modulation of fear-related brain activation by attentional control. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(10), 1683–1694.
- McLaughlin, S. J., Jette, A. M., & Connell, C. M. (2012). An examination of healthy aging across a conceptual continuum: prevalence estimates, demographic patterns, and validity. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 67(7), 783–789.
- McMains, S., & Kastner, S. (2011). Interactions of top-down and bottom-up mechanisms in human visual cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 31(2), 587–597.
- Mikels, J. a, Larkin, G. R., Reuter-Lorenz, P. a, & Cartensen, L. L. (2005). Divergent trajectories in the aging mind: changes in working memory for affective versus visual information with age. *Psychology and aging*, 20(4), 542–53.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24, 167–202.
- Mobilit, C. (2002). *Vieillessement et transports*. Éditions OCDE.
- Mogg, K., & Bradley, B. P. (1998, September). A cognitive-motivational analysis of anxiety. *Behaviour research and therapy*.
- Mogg, K., Bradley, B. P., de Bono, J., & Painter, M. (1997). Time course of attentional bias for threat information in non-clinical anxiety. *Behaviour research and therapy*, 35(4), 297–303.
- Mogg, Karin, & Bradley, B. P. (1999). Some methodological issues in assessing attentional biases for threatening faces in anxiety: a replication study using a modified version of the probe detection task. *Behaviour Research and Therapy*, 37(6), 595–604.
- Molina, G. G., Nijholt, A., & Twente, U. (2009). Emotional Brain-Computer Interfaces, 138–146.
- Molina, G. G., Tsoneva, T., & Nijholt, A. (2009). Emotional brain-computer interfaces. In *2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops* (pp. 1–9). IEEE.
- Moors, A., & De Houwer, J. (2006). Automaticity: a theoretical and conceptual analysis. *Psychological bulletin*, 132(2), 297–326.
- Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1998). Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, 393(6684), 467–470.
- Moser, J. S., Hajcak, G., Bukay, E., & Simons, R. F. (2006). Intentional modulation of emotional responding to unpleasant pictures: an ERP study. *Psychophysiology*, 43(3), 292–6.
- Mroczek, D. (2001). Age and emotion in adulthood. *Current Directions in Psychological Science*, 10(3), 87–90.
- Mroczek, D. K., & Kolarz, C. M. (1998). The effect of age on positive and negative affect: a developmental perspective on happiness. *Journal of personality and social psychology*, 75(5), 1333–1349.

- Murphy, F. C., Nimmo-Smith, I., & Lawrence, A. D. (2003). Functional neuroanatomy of emotions: a meta-analysis. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*, 3(3), 207–233.
- Murphy, N. A., & Isaacowitz, D. M. (2008). Preferences for emotional information in older and younger adults: a meta-analysis of memory and attention tasks. *Psychology and aging*, 23(2), 263–286.
- Murty, V. P., Sambataro, F., Das, S., Tan, H.-Y., Callicott, J. H., Goldberg, T. E., ... Mattay, V. S. (2009). Age-related alterations in simple declarative memory and the effect of negative stimulus valence. *Journal of cognitive neuroscience*, 21(10), 1920–33.
- Murugappan, M. (2010). Inferring of Human Emotional States using Multichannel EEG. *European Journal of Scientific Research*, 48(2), 281–299.
- Murugappan, Murugappan. (2010). Classification of human emotion from EEG using discrete wavelet transform. *Journal of Biomedical Science and Engineering*, 03(04), 390–396.
- Nashiro, K., Sakaki, M., & Mather, M. (2011). Age Differences in Brain Activity during Emotion Processing: Reflections of Age-Related Decline or Increased Emotion Regulation? *Gerontology*, 58(2), 156–163.
- Niedenthal, P. M. (2007). Embodying emotion. *Science (New York, N.Y.)*, 316(5827), 1002–5.
- Niedenthal, P. M., Winkielman, P., Mondillon, L., & Vermeulen, N. (2009). Embodiment of emotion concepts. *Journal of personality and social psychology*, 96(6), 1120–36.
- Nielsen, L., Knutson, B., & Carstensen, L. L. (2008). Affect dynamics, affective forecasting, and aging. *Emotion (Washington, D.C.)*, 8(3), 318–30.
- Nieuwenhuis, S., Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). Decision making, the P3, and the locus coeruleus-norepinephrine system. *Psychological bulletin*, 131(4), 510–532.
- Northoff, G., Heinzl, A., de Greck, M., BERPohl, F., Dobrowolny, H., & Panksepp, J. (2006). Self-referential processing in our brain--a meta-analysis of imaging studies on the self. *NeuroImage*, 31(1), 440–57.
- O'Doherty, J. P. (2007). Lights, camembert, action! The role of human orbitofrontal cortex in encoding stimuli, rewards, and choices. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1121, 254–72.
- Ochsner, K. N., Bunge, S. A., Gross, J. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Rethinking feelings: an fMRI study of the cognitive regulation of emotion. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(8), 1215–1229.
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in cognitive sciences*, 9(5), 242–249.
- Ochsner, K. N., Ray, R. D., Cooper, J. C., Robertson, E. R., Chopra, S., Gabrieli, J. D. E., & Gross, J. J. (2004). For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *NeuroImage*, 23(2), 483–99.
- Öhman, A. (1992). Orienting and attention: Preferred preattentive processing of potentially phobic stimuli. In *Attention and information processing in infants and ...* (pp. 263–295).
- Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion Drives Attention : Detecting the Snake in the Grass. *Journal of experimental psychology. General*, 130(3), 466–478.
- Olofsson, J. K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008). Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biological psychology*, 77(3), 247–65.
- Olofsson, J. K., & Polich, J. (2007). Affective visual event-related potentials: arousal, repetition, and time-on-task. *Biological psychology*, 75(1), 101–108.
- Oostenveld, R., & Praamstra, P. (2001). The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 112(4), 713–719.
- Opitz, P. C., Rauch, L. C., Terry, D. P., & Urry, H. L. (2012). Prefrontal mediation of age differences in cognitive reappraisal. *Neurobiology of aging*, 33(4), 645–55.

- Patel, S. H., & Azzam, P. N. (2005). Characterization of N200 and P300: selected studies of the Event-Related Potential. *International journal of medical sciences*, 2(4), 147–54.
- Peltola, M. J., Leppänen, J. M., Mäki, S., & Hietanen, J. K. (2009). Emergence of enhanced attention to fearful faces between 5 and 7 months of age. *Social cognitive and affective neuroscience*, 4(2), 134–42.
- Penfield, W., & Faulk, M. E. (1955). The insula; further observations on its function. *Brain : a journal of neurology*, 78(4), 445–470.
- Pessoa, L., McKenna, M., Gutierrez, E., & Ungerleider, L. G. (2002). Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(17), 11458–11463.
- Pessoa, Luiz, & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: from a “low road” to “many roads” of evaluating biological significance. *Nature reviews. Neuroscience*, 11(11), 773–783.
- Pessoa, Luiz, Kastner, S., & Ungerleider, L. G. (2002). Attentional control of the processing of neural and emotional stimuli. *Brain research. Cognitive brain research*, 15(1), 31–45.
- Petrantonakis, P. C., & Hadjileontiadis, L. J. (2010). Emotion recognition from EEG using higher order crossings. *IEEE transactions on information technology in biomedicine : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 14(2), 186–97.
- Petrides, M., & Milner, B. (1982). Deficits on subject-ordered tasks after frontal- and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 20(3), 249–262.
- Pfurtscheller, G., Allison, B. Z., Brunner, C., Bauernfeind, G., Solis-Escalante, T., Scherer, R., ... Birbaumer, N. (2010). The hybrid BCI. *Frontiers in neuroscience*, 4(April), 30.
- Phan, K. L., Taylor, S. F., Welsh, R. C., Ho, S.-H., Britton, J. C., & Liberzon, I. (2004). Neural correlates of individual ratings of emotional salience: a trial-related fMRI study. *NeuroImage*, 21(2), 768–780.
- Phan, K., Taylor, S., Welsh, R., Decker, L., Noll, D., Nichols, T., ... Liberzon, I. (2003). Activation of the medial prefrontal cortex and extended amygdala by individual ratings of emotional arousal: a fMRI study. *Biological psychiatry*, 53(3), 211–215.
- Phelps, E. A. (2004). Human emotion and memory: interactions of the amygdala and hippocampal complex. *Current opinion in neurobiology*, 14(2), 198–202.
- Phillips, L. H., Henry, J. D., Hosie, J. A., & Milne, A. B. (2008). Effective regulation of the experience and expression of negative affect in old age. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences*, 63(3), P138–45.
- Piaget, J. (1981). Intelligence and affectivity: Their relationship during child development. (Trans & Ed T. A. Brown & C. E. Kaegi).
- Plass-Oude Bos, D. (2006). *EEG-based emotion recognition*.
- Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In *Emotion: Theory, research, and experience: Vol. 1. Theories of emotion*, 3 – 33.
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of experimental psychology*, 109(2), 160–174.
- Pourtois, G., Schettino, A., & Vuilleumier, P. (2013). Brain mechanisms for emotional influences on perception and attention: what is magic and what is not. *Biological psychology*, 92(3), 492–512.
- Pourtois, G., Thut, G., Grave de Peralta, R., Michel, C., & Vuilleumier, P. (2005). Two electrophysiological stages of spatial orienting towards fearful faces: early temporo-parietal activation preceding gain control in extrastriate visual cortex. *NeuroImage*, 26(1), 149–163.
- Putze, F., Jarvis, J.-P., & Schultz, T. (2010). Multimodal Recognition of Cognitive Workload for Multitasking in the Car. In *2010 20th International Conference on Pattern Recognition* (pp. 3748–3751). IEEE.

- Ramoser, H., Müller-Gerking, J., & Pfurtscheller, G. (2000). Optimal spatial filtering of single trial EEG during imagined hand movement. *IEEE transactions on rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 8(4), 441–6.
- Ranganath, C., & Rainer, G. (2003). Neural mechanisms for detecting and remembering novel events. *Nature reviews. Neuroscience*, 4(3), 193–202.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (Mahwah, NJ., pp. 1–90). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Raz, N., Gunning-Dixon, F., Head, D., Rodrigue, K. M., Williamson, A., & Acker, J. D. (2004). Aging, sexual dimorphism, and hemispheric asymmetry of the cerebral cortex: replicability of regional differences in volume. *Neurobiology of aging*, 25(3), 377–396.
- Raz, N., & Rodrigue, K. M. (2006). Differential aging of the brain: patterns, cognitive correlates and modifiers. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 30(6), 730–748.
- Reed, A. E., & Carstensen, L. L. (2012). The theory behind the age-related positivity effect. *Frontiers in psychology*, 3(September), 339.
- Rivet, B., Cecotti, H., Maby, E., & Mattout, J. (2012). Impact of spatial filters during sensor selection in a visual P300 brain-computer interface. *Brain topography*, 25(1), 55–63.
- Rivet, B., Souloumiac, A., & Gibert, G. (2009). Sensor selection for P300 speller brain computer interface.
- Rivet, Bertrand, Cecotti, H., & Souloumiac, A. (2011). Theoretical analysis of xDAWN algorithm: application to an efficient sensor selection in a P300 BCI. *EUSIPCO*, (Eusipco).
- Rivet, Bertrand, Souloumiac, A., Attina, V., & Gibert, G. (2009). xDAWN algorithm to enhance evoked potentials: application to brain-computer interface. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 56(8), 2035–43.
- Roalf, D. R., Pruis, T. a, Stevens, A. a, & Janowsky, J. S. (2009). More is less: Emotion induced prefrontal cortex activity habituates in aging. *Neurobiology of aging*.
- Rolls, E T. (1996). The orbitofrontal cortex. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 351(1346), 1433–43; discussion 1443–4.
- Rolls, Edmund T, & Grabenhorst, F. (2008). The orbitofrontal cortex and beyond: from affect to decision-making. *Progress in neurobiology*, 86(3), 216–44.
- Roseman, I. J. (2008). Motivations and Emotivations: Approach, Avoidance, and Other Tendencies in Motivated and Emotional Behavior. In A J Elliot (Ed.), *Handbook of Approach and Avoidance Motivation* (pp. 343–346). New York, NY US: Psychology Press.
- Roseman, I. J., Wiest, C., & Swartz, T. S. (1994). Phenomenology, behaviors, and goals differentiate discrete emotions. *Journal of personality and social psychology*, 67(2), 206–221.
- Rösler, A., Ulrich, C., Billino, J., Sterzer, P., Weidauer, S., Bernhardt, T., ... Kleinschmidt, A. (2005). Effects of arousing emotional scenes on the distribution of visuospatial attention: changes with aging and early subcortical vascular dementia. *Journal of the neurological sciences*, 229-230, 109–116.
- Rothermund, K., & Brandtstädter, J. (2003). Coping with deficits and losses in later life: from compensatory action to accommodation. *Psychology and aging*, 18(4), 896–905.
- Rotshtein, P., Richardson, M. P., Winston, J. S., Kiebel, S. J., Vuilleumier, P., Eimer, M., ... Dolan, R. J. (2010). Amygdala damage affects event-related potentials for fearful faces at specific time windows. *Human brain mapping*, 31(7), 1089–1105.

- Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1987). Human aging: usual and successful. *Science (New York, N.Y.)*, 237(4811), 143–9.
- Rozenkrants, B., & Polich, J. (2008). Affective ERP processing in a visual oddball task: arousal, valence, and gender. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 119(10), 2260–5.
- Rozin, P., Haidt, J., & McCaule, C. (2008). Disgust. In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, & L. F. Barrett. (Eds.), *The Handbook of Emotions* (3rd ed., pp. 757–776). New York: Guilford.
- Rozin, Paul, & Royzman, E. B. (2001). Negativity Bias, Negativity Dominance, and Contagion. *Personality and social psychology review: an official journal of the Society for Personality and Social Psychology, Inc*, 5(4), 296–320.
- Rudrauf, D., David, O., Lachaux, J., Kovach, C. K., Martinerie, J., Renault, B., ... Fourier, J. (2008). Rapid Interactions between the Ventral Visual Stream and Emotion-Related Structures Rely on a Two-Pathway Architecture, 28(11), 2793–2803.
- Sabatinelli, D., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., & Lang, P. J. (2005). Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance. *NeuroImage*, 24(4), 1265–1270.
- Sabatinelli, D., Fortune, E. E., Li, Q., Siddiqui, A., Krafft, C., Oliver, W. T., ... Jeffries, J. (2011). Emotional perception: meta-analyses of face and natural scene processing. *NeuroImage*, 54(3), 2524–2533.
- Sabatinelli, D., Keil, A., Frank, D. W., & Lang, P. J. (2013). Emotional perception: correspondence of early and late event-related potentials with cortical and subcortical functional MRI. *Biological psychology*, 131(3), 513–519.
- Sabatinelli, D., Lang, P. J., Keil, A., & Bradley, M. M. (2007). Emotional perception: correlation of functional MRI and event-related potentials. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 17(5), 1085–1091.
- Sadock, B. J., & Sadock, V. A. (2008). *Kaplan & Sadock's Concise Textbook of Clinical Psychiatry* (p. 738). Lippincott Williams & Wilkins.
- Salthouse, T A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 16(5), 754–60.
- Salthouse, T A. (2011). Neuroanatomical substrates of age-related cognitive decline. *Psychological bulletin*, 137(5), 753–84.
- Salthouse, T A, Fristoe, N., McGuthry, K. E., & Hambrick, D. Z. (1998). Relation of task switching to speed, age, and fluid intelligence. *Psychology and aging*, 13(3), 445–461.
- Salthouse, Timothy A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, 103(3), 403–28.
- Salthouse, Timothy A. (2009). Decomposing age correlations on neuropsychological and cognitive variables. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 15(5), 650–661.
- Samanez-Larkin, G., & Carstensen, L. (2011). Socioemotional functioning and the aging brain. In J. Decety & J. Cacioppo (Eds.), *The Handbook of Social Neuroscience*. (pp. 507–521). New York, NY: Oxford University Press.
- Samanez-Larkin, G. R. (2011). Introduction to decision making over the life span. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1235, v–vi.
- Samanez-Larkin, G. R., Gibbs, S. E. B., Khanna, K., Nielsen, L., Carstensen, L. L., & Knutson, B. (2007). Anticipation of monetary gain but not loss in healthy older adults. *Nature neuroscience*, 10(6), 787–91.
- Samanez-Larkin, G. R., Mata, R., Radu, P. T., Ballard, I. C., Carstensen, L. L., & McClure, S. M. (2011). Age Differences in Striatal Delay Sensitivity during Intertemporal Choice in Healthy Adults. *Frontiers in neuroscience*, 5(November), 126.

- Sander, David. (2012). The role of the amygdala in the appraising brain Functional specialization does not require a one-to-one mapping between brain regions and emotions, 11001592.
- Sander, David, Grafman, J., & Zalla, T. (2003). The human amygdala: an evolved system for relevance detection. *Reviews in the neurosciences*, 14(4), 303–16.
- Sander, David, & Scherer, K. R. (2009). *Traité de psychologie des émotions*. Paris Dunod.
- Sarazin, M., Pillon, B., Giannakopoulos, P., Rancurel, G., Samson, Y., & Dubois, B. (1998). Clinicometabolic dissociation of cognitive functions and social behavior in frontal lobe lesions. *Neurology*, 51(1), 142–148.
- Schaefer, A., Collette, F., Philippot, P., Linden, M. Van der, Laureys, S., Delfiore, G., ... Salmon, E. (2003). Neural correlates of “hot” and “cold” emotional processing: a multilevel approach to the functional anatomy of emotion. *NeuroImage*, 18(4), 938–949.
- Scheibe, S., & Blanchard-Fields, F. (2009). Effects of regulating emotions on cognitive performance: what is costly for young adults is not so costly for older adults. *Psychology and aging*, 24(1), 217–23.
- Scheibe, S., & Carstensen, L. L. (2010). Emotional Aging : recent Findings and Future Trends. *Journal of Gerontology*, 135–144.
- Scheibe, S., English, T., Tsai, J. L., & Carstensen, L. L. (2013). Striving to feel good: ideal affect, actual affect, and their correspondence across adulthood. *Psychology and aging*, 28(1), 160–171.
- Scherer, K. (1984). On the nature and function of emotion: A component process approach. In K. R. Scherer & P. Ekman (Eds.), *In Approaches To Emotion* (pp. 293 – 317). Erlbaum, Hillsdale.
- Scherer, K. (1998). Appraisal theories. In T. Dalgleish & M. J. Power (Eds.), *Handbook of Cognition and Emotion* (p. 637). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Schulz, R. (1985). Emotion and affect. In *The handbook of the psychology of aging* (pp. 531–543).
- Schupp, H T, Cuthbert, B. N., Bradley, M. M., Cacioppo, J. T., Ito, T., & Lang, P. J. (2000). Affective picture processing: the late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology*, 37(2), 257–61.
- Schupp, Harald, Cuthbert, B., Bradley, M., Hillman, C., Hamm, A., & Lang, P. (2004). Brain processes in emotional perception: Motivated attention. *Cognition & Emotion*, 18(5), 593–611.
- Schupp, Harald T, Flaisch, T., Stockburger, J., & Jungho, M. (2006). Emotion and attention : event-related brain potential studies. *Brain*, 156, 31–51.
- Schupp, Harald T, Junghöfer, M., Weike, A. I., & Hamm, A. O. (2004). The selective processing of briefly presented affective pictures: an ERP analysis. *Psychophysiology*, 41(3), 441–449.
- Schupp, Harald T, Schmälzle, R., Flaisch, T., Weike, A. I., & Hamm, A. O. (2013). Reprint of “Affective picture processing as a function of preceding picture valence: an ERP analysis”. *Biological psychology*, 92(3), 520–5.
- Schupp, HT, Junghöfer, M., Weike, A. I., & Hamm, A. O. (2003a). Emotional facilitation of sensory processing in the visual cortex. *Psychological science: a journal of the American Psychological Society / APS*, 14(1), 7–13.
- Schupp, HT, Junghöfer, M., Weike, A. I., & Hamm, A. O. (2003b). Attention and emotion: an ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *Neuroreport*, 14(8), 1107–1110.
- Schuster, T., Gruss, S., Kessler, H., Scheck, A., Hoffmann, H., & Traue, H. (2010). EEG: Pattern Classification During Emotional Picture Processing. In *Proceedings of the 3rd*

- International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '10* (p. 1). New York, New York, USA: ACM Press.
- Seibt, B., Neumann, R., Nussinson, R., & Strack, F. (2008). Movement direction or change in distance? Self- and object-related approach–avoidance motions☆. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(3), 713–720.
- Sergerie, K., Chochol, C., & Armony, J. L. (2008). The role of the amygdala in emotional processing: a quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 32(4), 811–830.
- Shackman, A. J., Salomons, T. V., Slagter, H. A., Fox, A. S., Winter, J. J., & Davidson, R. J. (2011). The integration of negative affect, pain and cognitive control in the cingulate cortex. *Nature reviews. Neuroscience*, 12(3), 154–167.
- Shiota, M. N., & Levenson, R. W. (2009). Effects of aging on experimentally instructed detached reappraisal, positive reappraisal, and emotional behavior suppression. *Psychology and aging*, 24(4), 890–900.
- Singer, T., Critchley, H. D., & Preuschoff, K. (2009). A common role of insula in feelings, empathy and uncertainty. *Trends in cognitive sciences*, 13(8), 334–40.
- Smith, N. K., Cacioppo, J. T., Larsen, J. T., & Chartrand, T. L. (2003). May I have your attention, please: electrocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia*, 41(2), 171–83.
- Smith, N. K., Larsen, J. T., Chartrand, T. L., Cacioppo, J. T., Katafiasz, H. a, & Moran, K. E. (2006). Being bad isn't always good: affective context moderates the attention bias toward negative information. *Journal of personality and social psychology*, 90(2), 210–220.
- SOLARZ, A. K. (1960). Latency of instrumental responses as a function of compatibility with the meaning of eliciting verbal signs. *Journal of experimental psychology*, 59, 239–45.
- Soleymani, M., Pantic, M., & Pun, T. (2012). Multimodal Emotion Recognition in Response to Videos. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(2), 211–223.
- Sourina, O., Liu, Y., & Nguyen, M. K. (2011). Real-time EEG-based emotion recognition for music therapy. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 5(1-2), 27–35.
- Spaniol, J., Voss, A., & Grady, C. L. (2008). Aging and emotional memory: cognitive mechanisms underlying the positivity effect. *Psychology and aging*, 23(4), 859–72.
- Spencer, K. M., Dien, J., & Donchin, E. (2001). Spatiotemporal analysis of the late ERP responses to deviant stimuli. *Psychophysiology*, 38(2), 343–58.
- Spreckelmeyer, K. N., Kutas, M., Urbach, T. P., Altenmüller, E., & Münte, T. F. (2006). Combined perception of emotion in pictures and musical sounds. *Brain research*, 1070(1), 160–70.
- Squire, L., & Schacter, D. (2003). *Neuropsychology of Memory, Third Edition*. The Guilford Press.
- St Jacques, P. L., Dolcos, F., & Cabeza, R. (2009). Effects of aging on functional connectivity of the amygdala for subsequent memory of negative pictures: a network analysis of functional magnetic resonance imaging data. *Psychological science: a journal of the American Psychological Society / APS*, 20(1), 74–84.
- St Jacques, P. L., Dolcos, F., & Cabeza, R. (2010). Effects of aging on functional connectivity of the amygdala during negative evaluation: a network analysis of fMRI data. *Neurobiology of aging*, 31(2), 315–327.
- Staudinger, U. M., Fleeson, W., & Baltes, P. B. (1999). Predictors of subjective physical health and global well-being: Similarities and differences between the United States and Germany. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(2), 305–319.

- Steinmetz, K. R. M., Muscatell, K. a, & Kensinger, E. a. (2010). The effect of valence on young and older adults' attention in a rapid serial visual presentation task. *Psychology and aging*, 25(1), 239–45.
- Streubel, B., & Kunzmann, U. (2011). Age differences in emotional reactions: Arousal and age-relevance count. *Psychology and aging*, 26(4), 966–978.
- System, I. A. P. (1997). International Affective Picture System (IAPS): Technical Manual and Affective Ratings . *Psychology*.
- Szatkowska, I., Bogorodzki, P., Wolak, T., Marchewka, A., & Szeszkowski, W. (2008). The effect of motivation on working memory: an fMRI and SEM study. *Neurobiology of learning and memory*, 90(2), 475–8.
- Taylor, S. F., Phan, K. L., Decker, L. R., & Liberzon, I. (2003). Subjective rating of emotionally salient stimuli modulates neural activity. *NeuroImage*, 18(3), 650–659.
- Terry, R. D., DeTeresa, R., & Hansen, L. A. (1987). Neocortical cell counts in normal human adult aging. *Annals of neurology*, 21(6), 530–539.
- Tessitore, A., Hariri, A. R., Fera, F., Smith, W. G., Das, S., Weinberger, D. R., & Mattay, V. S. (2005). Functional changes in the activity of brain regions underlying emotion processing in the elderly. *Psychiatry research*, 139(1), 9–18.
- Theeuwes, J. (1994). Endogenous and exogenous control of visual selection. *Perception*, 23(4), 429–440.
- Tipper, S. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37, 571–590.
- Toffanin, P., Jong, R. De, Johnson, A., & Martens, S. (2009). Using frequency tagging to quantify attentional deployment in a visual divided attention task. *International Journal of Psychophysiology*, 72(3), 289–298.
- Tomaszczyk, J. C., Fernandes, M. a., & Macleod, C. M. (2008). Personal relevance modulates the positivity bias in recall of emotional pictures in older adults. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(1), 191–196.
- Urry, H. L., & Gross, J. J. (2010). Emotion Regulation in Older Age. *Current Directions in Psychological Science*, 19(6), 352–357.
- Urry, Heather L, van Reekum, C. M., Johnstone, T., & Davidson, R. J. (2009). Individual differences in some (but not all) medial prefrontal regions reflect cognitive demand while regulating unpleasant emotion. *NeuroImage*, 47(3), 852–863.
- Urry, Heather L, van Reekum, C. M., Johnstone, T., Kalin, N. H., Thurow, M. E., Schaefer, H. S., ... Davidson, R. J. (2006). Amygdala and ventromedial prefrontal cortex are inversely coupled during regulation of negative affect and predict the diurnal pattern of cortisol secretion among older adults. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 26(16), 4415–25.
- Valbuena, D., Cyriacks, M., Friman, O., Volosyak, I., & Graser, A. (2007). Brain-Computer Interface for high-level control of rehabilitation robotic systems. In *2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics* (pp. 619–625). IEEE.
- Valenza, G., Member, S., & Lanata, A. (2012). The Role of Nonlinear Dynamics in Affective Valence and Arousal Recognition, 3(2), 237–249.
- Van Marle, H. J. F., Hermans, E. J., Qin, S., & Fernández, G. (2009). From specificity to sensitivity: how acute stress affects amygdala processing of biologically salient stimuli. *Biological psychiatry*, 66(7), 649–655.
- Van Reekum, C. M., Johnstone, T., Urry, H. L., Thurow, M. E., Schaefer, H. S., Alexander, A. L., & Davidson, R. J. (2007). Gaze fixations predict brain activation during the voluntary regulation of picture-induced negative affect. *NeuroImage*, 36(3), 1041–55.
- Vieillard, S., & Bigand, E. (n.d.). Distinct Effects of Positive and Negative Music on Older Adults' Auditory Target Identification Performances.

- Vieillard, S., & Harm, J. (2013). LA REGULATION DES EMOTIONS AU COURS DU VIEILLISSEMENT NORMAL. *Année Psychologique*, In press.
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Hervé, P. Y., Duffau, H., Crivello, F., Houdé, O., ... Tzourio-Mazoyer, N. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage*, 30(4), 1414–1432.
- Vogt, B. A. (2005). Pain and emotion interactions in subregions of the cingulate gyrus. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(7), 533–544.
- Vogt, J., De Houwer, J., & Crombez, G. (2011). Multiple goal management starts with attention: goal prioritizing affects the allocation of spatial attention to goal-relevant events. *Experimental psychology*, 58(1), 55–61.
- Vuilleumier, P. (2005). How brains beware: neural mechanisms of emotional attention. *Trends in cognitive sciences*, 9(12), 585–594.
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, 45(1), 174–94.
- Vuilleumier, P., Richardson, M. P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2004). Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing. *Nature neuroscience*, 7(11), 1271–1278.
- Vytal, K., & Hamann, S. (2010). Neuroimaging support for discrete neural correlates of basic emotions: a voxel-based meta-analysis. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(12), 2864–85.
- Wager, T. D., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(4), 255–274.
- Waldinger, R. J., Kensinger, E. a, & Schulz, M. S. (2011). Neural activity, neural connectivity, and the processing of emotionally valenced information in older adults: links with life satisfaction. *Cognitive, affective & behavioral neuroscience*.
- Wallis, J. D., & Miller, E. K. (2003). Neuronal activity in primate dorsolateral and orbital prefrontal cortex during performance of a reward preference task. *The European journal of neuroscience*, 18(7), 2069–2081.
- Watanabe, M., Hikosaka, K., Sakagami, M., & Shirakawa, S. (2002). Coding and monitoring of motivational context in the primate prefrontal cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 22(6), 2391–2400.
- Weierich, M. R., Wright, C. I., Negreira, A., Dickerson, B. C., & Barrett, L. F. (2010). Novelty as a dimension in the affective brain. *NeuroImage*, 49(3), 2871–2878.
- Wentura, D. (1999). Activation and inhibition of affective information: for negative priming in the evaluation task. *Cognition & Emotion*, 13, 65–91.
- Wieser, M. J., Mühlberger, A., Kenntner-Mabiala, R., & Pauli, P. (2006). Is emotion processing affected by advancing age? An event-related brain potential study. *Brain research*, 1096(1), 138–147.
- Williams, J. M., Mathews, a, & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological bulletin*, 120(1), 3–24.
- Williams, L. M., Brown, K. J., Palmer, D., Liddell, B. J., Kemp, A. H., Olivieri, G., ... Gordon, E. (2006). The mellow years?: neural basis of improving emotional stability over age. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 26(24), 6422–6430.
- Williams, L. M., Palmer, D., Liddell, B. J., Song, L., & Gordon, E. (2006). The “when” and “where” of perceiving signals of threat versus non-threat. *NeuroImage*, 31(1), 458–67.
- Williams, M. A., Morris, A. P., McGlone, F., Abbott, D. F., & Mattingley, J. B. (2004). Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of

- binocular suppression. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 24(12), 2898–2904.
- Winecoff, A., Labar, K. S., Madden, D. J., Cabeza, R., & Huettel, S. a. (2010). Cognitive and neural contributors to emotion regulation in aging. *Social cognitive and affective neuroscience*, 6(2), 165–76.
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature reviews. Neuroscience*, 5(6), 495–501.
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain–computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767–791.
- Wolpaw, J., & Wolpaw, E. W. (2012). *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice* (Vol. 2012, p. 400).
- Wood, S., & Kisley, M. A. (2006). The negativity bias is eliminated in older adults: age-related reduction in event-related brain potentials associated with evaluative categorization. *Psychology and aging*, 21(4), 815–820.
- Wright, C. (2009). The human amygdala in normal aging and Alzheimer’s disease. In P. E. Whalen PJ (Ed.), *The Human Amygdala* (pp. 382–405). The Guilford Press; New York.
- Wright, C. I., Wedig, M. M., Williams, D., Rauch, S. L., & Albert, M. S. (2006). Novel fearful faces activate the amygdala in healthy young and elderly adults. *Neurobiology of aging*, 27(2), 361–74.
- Wundt, W. M., & Judd, C. H. (1897). *Outlines of Psychology* (p. 390).
- Wurm, L. H., Labouvie-Vief, G., Aycock, J., Rebucal, K. a, & Koch, H. E. (2004). Performance in auditory and visual emotional stroop tasks: a comparison of older and younger adults. *Psychology and aging*, 19(3), 523–35.
- Zajonc, R. B. (1984). On the primacy of affect. *American Psychologist*, 39(2), 117–123.
- Zald, D. H. (2003). The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain research. Brain research reviews*, 41(1), 88–123.
- Zander, T. O., & Kothe, C. (2011). Towards passive brain-computer interfaces: applying brain-computer interface technology to human-machine systems in general. *Journal of neural engineering*, 8(2), 025005.

Liste des figures

Figure 1: Evolution des performances des participants en fonction de leur âge et en fonction des tâches cognitives demandées.....	8
Figure 2: Modèle des processus composants de l'émotion selon Scherer.....	15
Figure 3 : Schéma décrivant le processus émotionnel selon les théories « motivationnelles ».....	18
Figure 4 : Self-assessment manikin (SAM) Test (Bradley and Lang, 1994).....	22
Figure 5: Valeur de l'agrément en fonction de l'activation pour chaque stimulus de la banque d'image IAPS....	23
Figure 6: Régions cérébrales impliquées dans les traitements émotionnels.....	24
Figure 7 : Amplitude de la LPP pour diverses catégories d'images positives (à gauche) et négatives (à droite) hiérarchisées selon leur degré d'activation (les plus hauts niveaux sont aux extrémités de l'axe).....	35
Figure 8 : Modèle des processus de régulation émotionnelle. Extrait de Gross (1998).	37
Figure 9: Modèle de traitement de l'information visuelle émotionnelle.	40
Figure 10 : Modèle attentionnel et interaction entre structures cérébrales.	42
Figure 11: Histogramme du nombre moyen d'images rappelées par tranche d'âge, selon la valence des images.	48
Figure 12 : Potentiels évoqués au niveau de l'électrode Pz, en fonction de la valence des stimuli et de l'âge.	63
Figure 13 : Amplitude de l'onde LPP calculée en effectuant la moyenne de la valeur d'amplitude électrique relevée sur l'électrode Pz entre 400 et 900ms en fonction de l'âge et de la valence.	64
Figure 14: Intensité globale de la mesure combinant les réponses motrices (faciales) et les réponses physiologiques moyennes (réponse électrodermale, rythme cardiaque) en fonction de l'âge et des conditions de régulation.	74
Figure 15 : Protocole expérimental proposé par Opitz et collaborateurs (2012).....	77
Figure 16: Evolution du ressenti sur la dimension activation en fonction de la valence des images pour les sujets jeunes à gauche et pour les sujet âgés à droite pour 504 images de scène naturelles.	84
Figure 17 : Proportion d'images rappelées en fonction de la valence, de l'âge et des capacités de contrôle cognitif.	91
Figure 18: Proportion des durées de fixation pour des images positives négatives appariées à des images neutres en fonction de l'âge et pour une condition de simple présentation ou d'attention divisée	93
Figure 19 : Schémas descriptifs du fonctionnement d'une ICM (a) « active » (b) « passive ».	102
Figure 20: Processus de classification.....	103
Figure 21: Classification FLDA.....	107
Figure 22: Visualisation d'une classification de type SVM.....	108
Figure 23: Principe de classification selon une règle de type k-NN.	109
Figure 24 : Niveau d'activation par images en fonction de l'émotion.	123
Figure 25: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental.	124
Figure 26: Evaluation du ressenti sur la dimension d'activation en fonction de la valence émotionnelle des stimuli et de l'âge.	129
Figure 27 : Topographie des différences d'amplitude de la LPP entre les situations négatives de haute ou basse activation et les situations positives ou neutres pour les deux groupes d'âge (jeunes, âgés).....	130

Figure 28: Potentiels évoqués enregistrés au niveau de l'électrode Pz dont la LPP. Le trait plein correspond à la période 400-700 ms de référence utilisée pour extraire l'amplitude moyenne de l'onde LPP.	131
Figure 29: Amplitude moyenne de la LPP en fonction de l'âge, du contexte et de l'émotion	132
Figure 30: Valeur propres de chacune des 20 premières électrodes virtuelles en fonction du groupe d'âge pour des filtres spatiaux optimisés pour la configuration C1 (Négative de Haute activation contre Neutre).	146
Figure 31: Topographies des patterns spatiaux attribués aux électrodes réelles dans la construction des 5 premières électrodes virtuelles et visualisation des signaux virtuels correspondant à chacune des électrodes.	148
Figure 32: Carte de corrélation pour les sujets jeunes (gauche) et âgés (droite) pour chacune des configurations de classification. Les courbes du bas représentent la somme sur les électrodes des p-value significatives pour les 5 configurations.....	149
Figure 33 : Evolution des taux de classification en fonction du nombre d'électrodes virtuelles extraites et en fonction des configurations.	152
Figure 34: Taux de classification en fonction des plages utilisées et de l'âge (à gauche, les sujets jeunes et à droite, les sujets âgés).....	152
Figure 35: Valeur de tendance à l'action pour chacune des images sur une échelle de -5 -recul/éloignement maximal à 5 -avance/approche maximale) en fonction du niveau d'activation allant de 1 -calme à 9 -excité de chaque image.....	159
Figure 36: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental. a :négatif ; b :positif ; c : neutre.....	160
Figure 37: Potentiels évoqués enregistrés au niveau de l'électrode Pz dont la LPP pour chaque âge en fonction de la valence émotionnelle et du contexte.	165
Figure 38: Amplitude moyenne de la LPP en fonction de l'âge, du contexte et de l'émotion (Neg = Négative; Pos = Positive; Neu = Neutre) et résultats des comparaisons post-hoc. Les barres d'erreurs représentent les erreurs standards.....	166
Figure 39: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental.	180
Figure 40: Résultats du test de Tuckey sur les taux de réponses correctes en fonction de la valence de la cible et du distracteur.	182
Figure 41 : Distraction et attraction de chacune des valences émotionnelles positives et négatives par rapport aux neutres.	185
Figure 42: Schéma du déroulement d'un essai du protocole expérimental.	190
Figure 43 : Résultats de l'ACPt.....	193
Figure 44: Topographie et visualisation des potentiels évoqués moyens pour la condition « Cible Négative Distracteur Positif » pour les 500ms suivant l'apparition du stimulus avec identification des ondes P2 et N2.	193
Figure 45: Amplitude de l'onde P2 sur des électrodes occipitales en fonction du type d'appariement.	197
Figure 46 : Etapes du processus d'évaluation cognitive en fonction du temps dans le modèle des « processus - composantes ».	212

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux résultats des études comportementales ayant évalué l'influence de l'âge sur la mémoire émotionnelle.	49
Tableau 2 : Principaux résultats des études comportementales ayant évalué l'influence de l'âge sur le traitement de stimuli émotionnels en oculométrie.	51
Tableau 3 : Principaux résultats des études comportementales ayant évalué l'influence de l'âge sur le traitement de stimuli émotionnels dans des tâches de type « détection de cible et priming émotionnel ».	52
Tableau 4 : Principaux résultats des études en IRM ayant évalué l'influence de l'âge sur le traitement de stimuli.	58
Tableau 5: Principaux résultats des études réalisées en EEG sur les effets de positivité avec l'âge selon les différentes composantes cérébrales évoquées d'intérêt et la valence émotionnelle des stimuli.	62
Tableau 6: Récapitulatif des principaux résultats des études comportementales de jugement émotionnel de stimuli selon le niveau de valence et d'activation des stimuli émotionnels utilisés.	82
Tableau 7 : Tableau des études et résultats sur la classification d'états émotionnels et de stimuli.	111
Tableau 8 : Classes à discriminer selon les configurations de classifieur binaire.	142
Tableau 9 : Taux moyen de classification pour les deux groupes d'âge en fonction de la configuration du classifieur binaire en utilisant 5 électrodes virtuelles et 4 plages temporelles.....	150
Tableau 10: Taux de classification pour chacun des sujets en fonction de la configuration du classifieur binaire en utilisant 5 électrodes virtuelles et 4 plages temporelles	151
Tableau 11 : Tableau des 6 conditions expérimentales et leur nombre d'essais respectifs.	179
Tableau 12 : Matrice de confusion des réponses et Z-score des erreurs d'attribution en fonction de la cible à catégoriser.	183
Tableau 13: Temps de réaction moyens en ms (et erreurs standards) pour les 6 conditions d'appariement cible/distracteur en fonction de l'âge et scores de différence par contraste d'intérêt.	184
Tableau 14 : Taux de congruence des réponses et temps de réponse moyen en ms (et erreurs standards) pour chaque type d'appariement et groupe d'âge.	196
Tableau 15 : Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre d'électrodes virtuelles conservées pour les sujets jeunes.....	283
Tableau 16 : Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre d'électrodes virtuelles conservées pour les sujets âgés.....	284
Tableau 17: Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre de plages temporelles conservées pour les sujets jeunes.....	285
Tableau 18: Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre de plages temporelles conservées pour les sujets âgés.....	286

ANNEXE

ANNEXE A - Article 1

Mathieu, N. G., Gentaz, E., Bonnet, S. Harquel, S., Vercueil, L., Bonnet, S., Guillemaud, R.,
Ida, M., Campagne, A. (in submission). Brain processing of emotional scenes with age:
Effect of arousal and affective context – *Plos One*

Brain processing of emotional scenes with age: Effect of arousal and affective context

Mathieu, N. G.^{a,*}, Gentaz, E.^a, Bonnet, S.^dHarquel, S.^a, Vercueil, L.^{b,c}, Bonnet, S.^d, Guillemaud, R.^d, Ida, M.^e, Campagne, A.^{a,*}

^a Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, CNRS – UMR 5105, Université Pierre Mendès-France, BP47, 38040 cedex 9, Grenoble, France

^b Centre Hospitalier Universitaire Nord, Service Exploration fonctionnelle du système nerveux, Université Joseph Fourier, BP 217, 38043, Grenoble cedex 9, France

^c Grenoble Neurosciences Institut, Inserm U 836 - UJF - CEA – CHU, Chemin Fortuné Ferrini, Bâtiment : Edmond J. Safra, 38706, La Tronche Cedex, France

^d Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information, CEA, 17 rue des martyrs 38054, Grenoble cedex 9, France

^e MINATEC IDEAs Laboratory, CEA, 17, rue des Martyrs 38054 Grenoble cedex 9, France

* Corresponding author:

- Nicolas Gilles Mathieu, PhD student, Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, UMR CNRS 5105, Université Pierre Mendès-France, BSHM, BP47, 38040 Grenoble Cedex 9, Tel: +33 476 825 403, Fax: +33 476 827 834, e-mail: nicolas.mathieu@gmail.com (N. Mathieu)

Abstract

Negative stimuli induce a higher attention and a greater brain activity than positive stimuli in younger adults. With age, this negativity bias decrease and sometimes become a positivity bias with an attention more focused on positive rather than negative information. Based on behavioral studies, the occurrence of such an attentional shift seems to depend on the arousal level of stimuli. In addition, it may also be modulated by the affective context. From the cerebral analysis of the Late Positive Potential sensitive to attention, our study investigated if the arousal level of negative scenes were differently processed with age. In addition, we evaluated if this arousal level of negative scenes contextually contributed to a modulation in cerebral processing of positive scenes and more generally to the observation of positivity effects with age. In this aim, two arousal levels of negative pictures were separately displayed into two distinct blocks (two affective contexts) in which positive and neutral pictures were equivalent. Our results showed no age-related effect of the arousal level on processing of negative picture. However, a lower attention to negative stimuli with age was reported regardless their arousal level. Any influence of age as well as context was observed for positive stimuli. The low-arousal context differently modulated the processing of neutral stimuli with age. These age-related effects have contributed to distinct patterns of attention bias between the two age groups depending on the context. Young adults seem to focus more their attention to negative stimuli compared to others stimuli regardless the context. In older adults, a similar negativity bias seems to be preserved in the high-arousal context whereas only an emotional bias was observed in the low-arousal context. These results confirmed the interest to consider both the affective context and the arousal level of emotional stimuli in age-related positivity effects.

Key words: Aging, negativity bias, positivity effects, arousal, Event Related Potential, Late Positive Potential

1. Introduction

A large number of behavioral [1,2] and neuroimaging studies [3–5] showed that negative stimuli engage more attention and induce more brain activity in regions related to emotional processing than positive or neutral stimuli.

In normal aging, the negativity bias tends to disappear and, sometimes, shifts towards a positivity bias due to a trend for adults to mainly decreasingly process negative information and, sometimes, increasingly process positive [6–8]. These age-related positivity effects tend to be explained by various theories [9–11]. According to the Socioemotional Selectivity Theory (SST) [11–13], reduction of their life span would motivate older adults to give priority to their well-being and so, to favor positive information over negative information. These age-related positivity effects constitute a strategy of mood regulation [14] implemented by cognitive control mechanisms that evolve with older adults' motivation changes. These control processes would modulate the salience of negative and/or positive information and would contribute to the attentional shift with age [reviewed in 15,16]. Another theory called the aging brain model [9] supposed rather an atrophy in brain structures involving in emotion processing such as the amygdala. This would contribute to an alteration in processing of negative stimuli and the observation of the positivity effect.

The positivity effects are principally reported in behavioral studies. In recall memory tasks, healthy old people thus remember more positive stimuli than negative stimuli (pictures or faces) compared to young adults [7,17–19]. The positivity effects are also showed in the attention paradigms [for a meta-analysis 2]. For instance, during passive viewing tasks of two emotional stimuli (scenes or faces) simultaneously displayed, gaze fixation is typically longer for positive than for negative stimuli in older adults compared to young adults [20–22]. In a dot-probe task, Mather and Carstensen [23] also show that older adults present, in terms of attention, an attraction for the positive stimuli and an avoidance for the negative stimuli.

Several fMRI studies highlight an age-related positivity effect mainly on negative stimuli [reviewed in 15,24] in several brain regions implied in emotional processing such as the amygdala which would particularly contribute to evaluate the emotional salience of stimuli and the prefrontal cortex which would be implied in emotion regulation [25–29]. Specifically, older adults show lower amygdala activities and higher prefrontal activities than young adults during the processing of negative pictures [25,27,reviewed in 29]. Positivity effects are also observed in the few ERP studies on the elderly. Specifically, the amplitude of the Late Positive Potential (LPP) evoked by negative stimuli decreases in older adults and becomes similar to the LPP amplitude evoked by positive stimuli [30–32]. According to literature, the amplitude of this slow wave component, peaking around 300-900 ms in centro-parietal region [33], would reflect the attentional engagement [34,35] and would be sensitive to emotional regulation processes [36].

In certain circumstances, no positivity effect are observed [37]. For instance, Mather and Knight [37] demonstrate that the detection of threatening stimuli is similar between old and young adults. Several behavioral studies suggest that the arousal level of stimuli may modulate the age-related effects during the processing of emotional information [19,38,39]. Streubel and Kunzmann [38] thus show that older adults rate more pleasant the low and high arousal positive images and less unpleasant the low arousal negative pictures than young adults. No age effect was observed for the high-arousal negative pictures. Additionally, the authors also specify that this age effect on negative stimulation would only be valid for low-relevance pictures, such as images sparking anger (versus sadness). In a memory task of words, Kensinger [19] also shows a positivity effect for low-arousal negative and not for high-arousal negative. It has been shown that high-arousal information automatically captures attention which, in turn, would improve perceptual processing without any cognitive effort [40]. In contrast, the enhancement in processing of the low-arousal information would be the result of controlled processes that are demanding in resources [41]. The age-related literature data thus suggest that automatic processing of high-arousal information remains relatively well preserved with age [37,42]. In

contrast, it is assumed that positivity effects are due to controlled rather than automatic processes [20,43] and would be particularly favored during low-arousal stimuli processing. Overall, according to some behavioral studies, the occurrence of the age-related effects on processing and experience of emotional stimuli seems to depend on the arousal level of stimuli.

In addition, studies have demonstrated that stimuli are automatically evaluated in their environment [44], i.e. depending on the others information present simultaneously or previously. Smith and collaborators [45] investigated the emotional ERP modulation, indexed by LPP component, as a function of the valence of preceding images and their probability. They show that the negativity bias may be attenuated by affective context and may shift toward a positivity bias. Affective context effects were also highlighted in emotional induction paradigms and would contribute to the positivity effect in older adults, particularly in a negative context [46]. Based on this literature, we assumed that the affective context would be possibly an additional moderator in the observation of age-related positivity effects and could favor the age-related arousal effects in modulation of emotional preferences.

To our knowledge, few studies explored the effects of arousal level and affective context on brain processing of emotional stimuli with age. In the present event-related potentials (ERP) study, we investigated to what extent two arousal levels of negative scenes (high-arousal and low-arousal) is differently evaluated with age in the brain and to what extent these different arousal level of negative stimuli may contextually contribute to a modulation in cerebral processing of positives (and neutral) scenes and more generally to the observation of positivity bias. In this aim, two arousal levels of negative pictures were separately displayed into two distinct experimental blocks in which positive and neutral pictures were equivalent. These two blocks thus constituted two affective contexts. Pictures were presented in a random sequence according to the paradigm the most often used to assess the positivity effect in aging. We focused our study on age-related effects in negative situations and their consequences on the processing of positive and neutral stimuli because of the prevalence of these effects in literature [2]. Our evaluation was performed

from the cerebral analysis of the LPP amplitude. It is sensitive to both arousal level [47] and emotional regulation processes [36] and constitute a relevant indicator of the positivity effect [30,31].

We expected that the processing of high-arousal negative stimuli would be preserved with age contrary to low-arousal negative stimuli. Specifically, we assumed that the LPP amplitude of high arousal negative would be similar in two age groups whereas the LPP amplitude of low arousal negative would be attenuated in older adults. In addition, we hypothesized that the LPP amplitude of positive stimuli would be potentiated in the context of low-arousal negative stimuli. Based on these hypotheses, we assumed a negativity bias in older adults as in younger in the block of high-arousal negative pictures contrary to the low-arousal context in which we expected a positivity effect (i.e. reduction of the negativity bias for older compared to younger).

2. Methods

2.1 Participants

Fourteen young adults (7 men; $24.4 \text{ SE} \pm 1.8$ years; 7 women; $27.5 \text{ SE} \pm 1.4$ years) and fourteen older adults (7 men; $62.3 \text{ SE} \pm 0.8$ years; 7 women; $65.3 \pm \text{SE} 1.6$ years) participated in the experiment. The two age groups had a French culture and a similar education level and all participants were right-handed. They were selected from 19 young adults and 23 old people following a medical and neuropsychological screening: all had a normal or corrected-to-normal vision, were free of any medical treatment likely to modulate emotional processes (e.g. beta-blocking) or any neurological or psychiatric disorder, past or present. Each participant had a minimal score of 27 in the Mini Mental State Examination (MMSE), a maximum of 4 on the short version of the Beck depression scale and made no more than 12 errors during the short version of the Wisconsin Card Test. They signed a written informed consent and received a 40-euro indemnity.

2.2. Stimuli

Stimuli were displayed against a black background using E-prime software (E-prime Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, USA) onto a 22-inch monitor located 90 cm from the participants. They consisted of 180 color pictures of natural scenes (at a resolution of 640 x 480 pixels) projected with a visual angle of 16.4° x 11.4°. Stimuli were composed of 60 negative, 60 positive and 60 neutral scenes. Visual scenes were in close-up and directly involved the participant. Pictures were selected from several sources: the International Affective Picture System (IAPS) [48], the Internet (not copyrighted) and an in-house database. Negative scenes included dangerous animals (spiders, snakes, sharks, etc.), unsafe environments (tornadoes, fires, tsunamis, etc.) and aggressive people (carrying weapons, angry expressions, etc.). Positive scenes included images showing safe, happy and friendly animals, idyllic landscapes (beaches, mountains, etc.) as well as happy and friendly people. Neutral scenes included the same type of stimuli (animals, environments and people) in neutral situations.

Based on a pretest performed with 34 volunteers (Mean: 22.7 years old, 20 female, 14 male), negative stimuli were associated to a fear emotion and were subdivided into two groups depending on their arousal level, i.e. 30 low-arousal negative stimuli (4.12 $SE \pm 0.6$, on an arousal scale from 1-none to 9-high) and 30 high-arousal negative stimuli (7.48 $SE \pm 0.35$). Positive stimuli were characterized by an emotion of well-being and by a mid-arousal level (5.38 $SE \pm 0.8$). Neutral scenes without emotional content were defined by very low-arousal level (1.2 $SE \pm 0.2$). The luminosity and contrasts were corrected to be similar between the 4 categories of pictures.

2.3. Protocol

Brain activity of two age groups was recorded during a categorization task of natural scenes. Two 8-minute experimental blocks were performed by participants with breaks in between. Each block consisted of a random sequence of 30 negative pictures, 30 positive pictures and 30 neutral pictures. Positive and neutral pictures used in the two blocks had the same emotional characteristics and were counterbalanced across participants in each age group. But, the two blocks differed by the

arousal level of their negative images- one block included high-arousal negative pictures and the second block included low-arousal negative pictures – in order to constitute two affective contexts with respect to positive and neutral stimuli. Specifically, these blocks were defined in order to assess the influence of arousal level of negative stimuli on the processing of positive and neutral stimuli which had the same emotional characteristics between the two blocks. The block order was randomized across participants of a same age group in order to avoid any experimental bias. Each trial began with a central fixation cross for a variable period (1500ms \pm 500ms) followed by the displaying of the stimulus for 1000ms. Then, at the end of each stimulus presentation, a white point was flashed up on the screen for 300ms and indicated to participants that they could answer. The response-time period was 2000ms. For each trial, participants were instructed to view and experience the scene as if it was real and to report their emotional experience (fear for their physical integrity, well-being or no emotion) as spontaneously as possible by pressing one of three corresponding manual keys of a keyboard, with their right hand. Before the 2 blocks, 30 different training trials from those used in the experiment were projected to familiarize the participant with the task.

After the experiment, the arousal level induced by each image used in the experiment was re-evaluated by our two participant groups on a continuous scale from 1- none to 9-high using a joystick (following the same procedure as our pre-test). For that, the 180 pictures were again displayed for 1s in a random sequence

2.4. EEG recordings and Signal Processing

The electroencephalographic (EEG) activity was recorded continuously during all the experimental blocks using an Acticap® (Brain Products, Inc.) equipped with 78 Ag-AgCl unipolar active electrodes that were positioned according to the extended 10-20 system [49,50]. The reference and ground electrodes used for EEG data acquisition were those of Acticap®, i.e. close to the vertex (FCz) for the reference electrode, and on the forehead (AFz) for the ground electrode. For the other electrodes, a ground electrode was placed on the shoulder blade. Blinks and eye movements were recorded using 4 electro-oculography electrodes: two

positioned above and below the left eye on the median axis for vertical activities and two at the corner of the eyes. In addition, participants were instructed to avoid blinking and eye movements both during the fixation cross and picture presentation. The signals' impedance was below 5 k Ω . Data were amplified using a BrainAmp™ system (Brain Products, Inc.) and sampled to 1000Hz, with a 0.1 μ V resolution and a 10-second time constant.

Using BrainAnalyzer software™, the EEG raw data were digitally filtered by applying a low-pass band below 30 Hz. The EEG data were segmented into epochs from 350 ms before stimulus onset to 1000ms after stimulus onset. Each segment was reviewed offline and segments containing ocular blink, muscular activity or non-physiological artifacts were rejected. Artifacts related to ocular movements were corrected using an independent component analysis (ICA). Data were then baseline corrected to the 350 to 50ms preceding the stimulus. For each participant of two age groups, Event Related Potentials (ERPs) induced by pictures and measured over each electrode were averaged in each block depending on the emotional category of stimuli: high-arousal negative ($n=27.6$ trials \pm 1.75), positive ($n=27.5$ trials \pm 2) and neutral (27.6 trials \pm 1.7) for one block and low-arousal negative ($n=27.6$ \pm 1.63), positive ($n=27.5$ trials \pm 1.97) and neutral ($n=27.4$ trials \pm 1.97) for the other block.

2.5. Data analysis

2.5.1 Behavioral and subjective data

For each participant, the accuracy, as the mean rate of correct responses (%ACC), were measured for each stimulus category in each experimental condition. A response for a given scene was considered as correct when the response (emotion) given by the participant was the same as the one given by the pretested participants, i.e. when the response is congruent. Specifically, a correct response corresponded to: "press the fear response key" for the pictures characterized by a fear emotion during the pretest; "press the well-being response key" for the pictures characterized by a well-being emotion during the pretest; "press the neutral response key" for the pictures categorized as neutral during the pretest. All different responses

(i.e. non congruent and button errors) were considered as errors. It should be noted that few accuracy differences appeared between our participants and our pretest group and were similar between the age groups. The mean rate of correct responses was assessed using a repeated-measure ANOVA with *participants' age* (young and old adults) as a between-subjects factor and *contextual block* (high arousal or low arousal context) and *emotion* (negative, positive, neutral) as within-subjects factors.

The mean subjective arousal level reported by each participant after the EEG experiment was studied depending on *age* (between-subject factor) and the 4 *emotional categories* of stimuli (high-arousal negative, low-arousal negative, positive and neutral) using a repeated-measure ANOVA. All mean comparisons were performed using Tukey post hoc. The significant level of tests was set at 0.05.

2.5.2. EEG data

Our analysis focused here on Late Positive Potential (LPP) that we identified based on the grand average of data in each age group. The LPP was observed between 400 and 700 ms from stimulus onset [51–54] in the centro-parietal region and was measured more specifically at the amplitude peak of the component, i.e. Pz in accordance with the literature data [3,30,31,33]. For each participant, mean amplitude of the LPP was measured over the Pz electrode for each emotional valence in two blocks. Then, LPP amplitude was analyzed using an ANOVA for repeated measures with *participants' age* (young and old adults) as a between-subjects factor and *context* (high-arousal or low-arousal context) and *emotion* (negative, positive and neutral) as within-subjects factors. In the case of a sphericity violation in our analyses, a Greenhouse-Geisser correction was performed.

Planned contrasts were performed for each valence depending on the two contexts and two age groups in order to distinguish i) the age-related effects on processing of negative stimuli depending on their arousal level and ii) the context effects (related to two kind of negative stimuli) on processing of positive and neutral stimuli depending on age of participants. Based

on literature, we assumed that the LPP amplitude of high arousal negative would be similar in two age groups whereas the LPP amplitude of low arousal negative would be attenuated in older adults. In addition, we hypothesized that the LPP amplitude of positive stimuli would be potentiated in the context of low-arousal negative stimuli. These positivity effects contribute to the disappearing of the negativity bias in aging, observed in some neuroimaging studies [30,31]. In order to identify the preference between the three image categories (attentional bias) in each context for the two age groups, mean comparisons of their LPP amplitude values were performed using Tukey post hoc. The significant level of tests was set at 0.05.

To determine whether the gender of the participants influenced processing of the emotional stimuli, we previously performed a repeated-measure ANOVA for each analysis with *age group* and *gender* as between-subjects factors and *block* and *emotional valence* as within-subjects factors. No main gender effect or any interaction with other factors was observed. The *gender* factor was thus subsequently removed from the analyses reported here. All statistical analyses were performed using Statistica10 (StatSoft, Inc.) software.

3. Results

3.1. Percentage of correct responses (congruent responses, % ACC)

Significant main effect on mean rate of correct responses was observed for Context ($F(1, 26) = 9.24, p < .006$). Mean comparisons revealed a higher rate during block containing high-arousal negative (89.64% $\pm 2.33\%$) than block with low-arousal negative stimuli (84.96% $\pm 2.72\%$). No main effect was observed for Age ($F(1.26)=1.48$, ns) and for Emotion ($F(2.52)=0.79$, ns). Significant two-way interaction Context x Emotion was observed ($F(2, 52) = 27.67, p < .001$). Specifically, during the high-arousal context, performance was better for high-arousal negative stimuli (94.41%, $SE \pm 2.21\%$) than for positive (85%, $SE \pm 2.25\%$, $p < .001$) and neutral stimuli (89.53%, $SE \pm 1.80\%$, $p < .001$). The opposite pattern was observed during low-arousal context: positive (87.86%, $SE \pm 1.54\%$, $p < .001$) and neutral

stimuli (88.69%, $SE \pm 1.93\%$, $p < .001$) induced better performance than low-arousal negative stimuli (78.34%, $SE \pm 3.10\%$). Performance for positive and neutral stimuli was similar regardless the context. No interaction effect with Age was noticed.

3.2. Subjective arousal level

Due to acquisition problems, only 22 participants (11 young and 11 old) were included in this analysis. Statistical analysis showed that subjective arousal level only varied with Emotion ($F(3.60)=221$; $p < .001$); no Age effect ($F(1.20)=2.33$, ns) and no interaction effect with Age ($F(3.60)=1.35$, ns) was observed. In accordance with the pretest, high-arousal negative pictures (7.04, $SE \pm 0.26$ on scale of 1 to 9) and neutral pictures (1.1, $SE \pm 0.11$) elicited the highest and lowest subjective arousal level respectively, in comparison with positive ($p < .001$ for the two comparisons) and low-arousal negative stimuli ($p < .001$ for the two comparisons). Also, subjective arousal level for positive pictures (5.54, $SE \pm 0.2$) was also significantly higher than for low-arousal negatives pictures (4.73, $SE \pm 0.31$, $p < .001$).

3.3. LPP amplitude analysis

Figure 1 shows the ERP waveform at Pz for each emotion in each context and each age group.

The ANOVA analyze revealed a significant main effect on LPP amplitude for Context ($F(1, 26) = 6.22, p < .02$) and Emotion ($F(1.82, 47.3) = 67.60, p < .001$) and a significant effect for interaction Context x Emotion ($F(1.73, 45) = 13.72, p < .001$) and Age x Context x Emotion ($F(1.73, 45)=4.48, p < .022$; figures 1). Specifically, planned comparisons for negative stimuli in the two contexts and the two age groups showed a lower LPP amplitude for low-arousal compared to high-arousal negative stimuli ($p < .01$) in both young and older adults. The LPP amplitude was also lower for older adults compared to younger adults ($p < .01$), regardless of arousal level of the negative stimuli. But, no interaction was observed between Context x Age for negative stimuli. The processing of neutral stimuli also tended to differ between the two groups depending on the context ($p < .073$). Their LPP amplitude was significantly higher for young compared to older

adults ($p < .05$) in low-arousal context; no difference was found between age group in high arousal context. No significant effect was found on the LPP amplitude for positive.

Concerning the Tukey's post hoc tests, the analysis revealed in the high-arousal context a significantly higher LPP amplitude for high-arousal negative (young: $M=11.62$, $SE=1.7$; old: $M=7.48$, $SE=1.6$) compared to positive for both age groups (young: $M=5.93$, $SE=1.8$; old: $M=3.42$, $SE=1.5$; $p < .001$ for the two comparisons). Neutral stimuli (young adults: $M=2.14$, $SE=1.6$; older adults: $M=1.09$, $SE=1.2$) elicited a lower LPP amplitude compared to positive ($p < .001$) and negative stimuli ($p < .001$) for young adults and only compared to negative stimuli for older adults ($p < .001$).

In the low arousal context, the LPP amplitude for negative ($M=7.57$, $SE=1.2$) in young people was higher than for positive ($M=4.37$, $SE=1.1$; $p < .013$) and neutral ($M=3.73$, $SE=1$; $p < .005$) without a significant difference between positive and neutral conditions. Older adults presented a higher LPP amplitude for emotional stimuli (negative: $M=3.30$, $SE=1.77$; positive: $M=3.33$, $SE=1.2$) compared to neutral ($M=1.09$, $SE=1.2$, $p < .001$ for the two comparisons) without a significant difference between positive and negative conditions. For each group, the LPP amplitude was significantly decreased for low-arousal compared to high-arousal negative stimuli ($p < .001$).

Insert Figure 1 about here

Insert Figure 2 about here

4. Discussion

The main goal of this ERP study was to determine if the two arousal levels of negative scenes (high-arousal and low-arousal) were differently evaluated with age in the brain and if this arousal level of negative scenes contextually contributed to a modulation in cerebral

processing of positive scenes and more generally to the observation of positivity effects with age.

In agreement with literature, a classical decrease of the LPP amplitude, reflect of arousal level and attention [34], was observed for low-arousal negative stimuli compared to high-arousal negative stimuli in young adults. Contrary to our expectations, a statistical similar reduction was noted for older adults suggesting that the relative processing of different arousal levels of negative stimuli was performed on an equivalent scale between the two age groups. Nevertheless, the LPP amplitude for negative stimuli was significantly reduced in older adults compared to young adults, regardless the arousal level of negative stimuli suggesting an overall age-related attenuation in the processing of negative stimuli. Such an age effect on processing of negative stimuli was reported in several neuroimaging studies [15,27,29] and in the few ERP studies on the emotion in aging [30–32]. According to these studies and the two main current theories (SST and aging brain model), this age-related effect on negative stimuli would be due to emotional regulation processes which would decrease the salience of negative stimuli with age [15] and/or to a possible cognitive decline with age which would degrade the processing of negative stimuli [9].

In addition, we assumed that negative stimuli could modulate the processing of positive stimuli and contribute to the positivity effect with age. Contrary to our expectations, this contextual effect on positive stimuli was not observed in our study. In contrast, the processing of neutral stimuli was significantly reduced in older adults compared to young adults in the low-arousal negative context, as attested by a lower LPP amplitude. These age-related contextual effects coupled to those observed for negative stimuli seem to have contributed to differences in attention bias between the two age groups depending on the considered context.

During the high-arousal negative context, given the relative arousal levels of emotional stimuli, a negativity bias was rationally observed in young adults [34] with a higher LPP amplitude and higher performances for high arousal negative than for positive and neutral natural scenes. This result attest that perceptual processing of high arousal negative stimuli is particularly promoted compared to positive and neutral stimuli. From an

evolutionary standpoint, events that threaten life such as our high-arousal negative stimuli would have a greater adaptive and motivational value than any other type of stimuli [55,56]. In this situation, the motivational system would thus focus and favor attention to negative stimuli, crucial for adaptation and survival [57,58] and would contribute to facilitating their perceptual processing compared with other stimuli as attested by LPP amplitude [34,54]. For high arousal stimuli such as high arousal negative stimuli, this facilitation would involve more automatic attentional processes [19,40]. In young adults, this would be also the case for positive stimuli compared to neutral stimuli, which induced higher LPP amplitude and higher performance than neutral stimuli.

In agreement with previous behavioral studies [37,42], a similar negativity bias was maintained for older adults during the high-arousal negative context at the neurophysiological level with a higher LPP amplitude for high-arousal negative stimuli than for positive and neutral stimuli, despite the fact that the LPP amplitude for negative stimuli was significantly reduced in older adults compared to young adults. In contrast, although no difference in LPP amplitude of positive and neutral stimuli was noted between the two age groups in the high-arousal negative context, the LPP amplitude for positive and neutral stimuli became similar with age in this context. Taken together, these results confirm the literature suggesting that the attentional prevalence of high-arousal negative information and its automatic processing remain relatively well preserved with age [37,42] with, however, a possible age effect on the relative processing of positive and neutral stimuli in the high-arousal negative context. This later would be characterized by a disappearance with age of a prevalence of positive stimuli relative to neutral stimuli in this context in favor of negative stimuli.

More interestingly, during the low-arousal context, different patterns were observed between the two age groups. In young adults, a negativity bias attested by LPP amplitude was maintained for low-arousal negative scenes despite the fact that their arousal level was significantly rated lower than positive stimuli at the subjective level. In addition, in young adult, although positive and neutral stimuli showed a statistical similar pattern in terms of LPP

amplitude between the two contexts (i.e. with high-arousal and low-arousal negative stimuli), the LPP amplitude for positive and neutral stimuli became similar in the low-arousal negative context contrary to high-arousal negative context (in which a prevalence of positive stimuli to neutral stimuli was observed). All these results suggest that young adults would always promote a negativity bias even when the arousal level of negative stimuli is relatively low and would associate a possible modulation in relative processing of positive and neutral stimuli between the two contexts. This later would be characterized by a disappearance in low-arousal context of a prevalence of positive stimuli relative to neutral stimuli in young adults in favor of negative stimuli (as for older adults in high-arousal context).

During the low-arousal context, whereas young adults focus their attention to negative stimuli at the expense of other stimuli, older adults favor an emotional bias (without distinction of negative and positive stimuli) with a higher LPP amplitude for negative and positive stimuli compared to neutral stimuli. In other words, the negativity bias observed in young adults in both contexts and in older adults in high-arousal context disappeared in older adults when positive (and neutral) stimuli were presented in the context of low-arousal negative stimuli. This reduction of negativity bias with age in the low-arousal context was previously observed in three EEG studies on the LPP using negative and positive stimuli with arousal levels close to those used in our low-arousal context [30–32]. Based on previous behavioral studies [19,38,39], it is assumed to be associated, in older adults, with a particular decrease in responses to low-arousal negative stimuli. A reduction of the LPP amplitude for negative stimuli was effectively observed between the two age groups. But, it was similar for the two arousal contexts. The association of this overall age-related effect on negative with an absence of age effect on the processing of positive stimuli may, however, justify the disappearance of negativity bias with age in the low-arousal context. In addition, in this context, older adults seem to favor an emotional bias by specifically reducing their attention in the neutral situations. This age effect in processing of neutral stimuli was reported by some behavioral studies and would have to be more considered in the understanding of age-related positivity effects.

The age-related effects reported above appear, however, without consequences on cognitive evaluation performance of emotional experience since it was statistically similar between the two age groups in the two study contexts for each considered emotional category of natural scenes. The lack of age effect was also found in the subjective evaluation of the emotional arousal level induced by each category of natural scenes, reported by participants after the ERP experiment.

Taken all together, our results thus show a difference in age-related effects between cerebral processing and the behavioral evaluations of emotional scenes. This dissociation is in agreement with previous studies in ERP [32,59] also using natural scenes (IAPS) as stimuli, suggesting that age does not affect the conscious evaluation of emotional scenes (in terms of hedonic valence, discrete emotions and emotional arousal) and only modulates their processing. However, other purely behavioral studies go against this hypothesis and report changes with age in the subjective rating of natural scenes [38,39,60]. Various variables may have contributed to the lack of age effect on our behavioral measures. Firstly, as in many studies in EEG and fMRI, the evaluation task of emotional valence was performed at the end of each picture and not during the presentation of pictures; participants had thus the time to re-evaluate pictures in a more rational manner. During the subjective evaluation task of emotional arousal, which was performed after the EEG experiment, a habituation effect was possible since participants saw the images for the second time. Additionally, in the same task, pictures were not evaluated in the same configuration as the EEG experiment (by considering two contexts), thus limiting the age effects in contextual processing. Finally, the emotional evaluation task used in our study involved the identification of discrete emotions (fear or well-being or no emotion) whereas the emotional valence (pleasantness versus unpleasantness) is more classically evaluated in other studies.

Because of our study choices, our work shows some limits. Firstly, based on our results, the age-related effect on the processing of negative stimuli appeared independent of their arousal level and no age effect was observed for positive stimuli. It is possible that the limited

number of participants may have contributed to these results. Moreover, it is not excluded that the processing of positive stimuli (rather than negative stimuli) may be modulated by age depending on their arousal level (not studied here). Additionally, it is possible to consider that this arousal level of positive stimuli can also contextually influence the processing of negative and neutral situations (not studied here) and thus contribute to attentional shift observed with age.

In conclusion, our results showed that the relative processing of different arousal levels of negative stimuli was similar between the two age groups but a lower attention to negative stimuli with age was reported regardless their arousal level. Any influence of age as well as context was observed for positive stimuli. The low-arousal context differently modulated the processing of neutral stimuli with age. These age-related effects have contributed to distinct patterns of attention bias between the two age groups depending on the context. Young adults seem to focus more their attention to negative stimuli compared to others stimuli (negativity bias) regardless the context, which could be the “default” bias as suggested by Smith and collaborators [45]. In older adults, a similar negativity bias seems to be preserved in the high-arousal context whereas only an emotional bias (i.e. negative and positive without distinction) was observed in the low-arousal context. These results confirmed the interest to consider both the affective context and intrinsic properties of emotional stimuli (such as the arousal level) in their processing with age to study the “positivity effect”.

Acknowledgements

This study was financially supported by MINATEC IDEAs Laboratory and by CEA-Leti MINATEC. We also thank Roy Thomas for the English revision of the manuscript.

Disclosure statement

The authors certify that they have no actual or potential conflicts of interest for this work. The study was promoted by the University Hospital in Grenoble and was approved by the French ethics committee (ID RCB: 2011-

A01602-39). Participants were informed and signed a written consent.

References

1. Hansen CH, Hansen RD (1988) Finding the face in the crowd: An anger superiority effect. *J Pers Soc Psychol* 54: 917–924.
2. Murphy NA, Isaacowitz DM (2008) Preferences for emotional information in older and younger adults: a meta-analysis of memory and attention tasks. *Psychol Aging* 23: 263–286.
3. Ito TA, Larsen JT, Smith NK, Cacioppo JT (1998) Negative information weighs more heavily on the brain: the negativity bias in evaluative categorizations. *J Pers Soc Psychol* 75: 887–900.
4. Bradley MM, Sabatinelli D, Lang PJ, Fitzsimmons JR, King W, et al. (2003) Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behav Neurosci* 117: 369–380.
5. Olofsson JK, Nordin S, Sequeira H, Polich J (2008) Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biol Psychol* 77: 247–265.
6. Mroczek DK, Kolarz CM (1998) The effect of age on positive and negative affect: a developmental perspective on happiness. *J Pers Soc Psychol* 75: 1333–1349.
7. Mather M, Carstensen LL (2005) Aging and motivated cognition: the positivity effect in attention and memory. *Trends Cogn Sci* 9: 496–502.
8. Charles ST, Reynolds CA, Gatz M (2001) Age-related differences and change in positive and negative affect over 23 years. *J Pers Soc Psychol* 80: 136–151.
9. Cacioppo JT, Berntson GG, Hawkley LC (2011) Could an Aging Brain Contribute to Subjective Well-Being? The value added by a social neuroscience perspective. In: Todorov A, Fiske S, Prentice D, editors. *Social Neuroscience: Toward Understanding the Underpinnings of the Social Mind*. pp. 249–262.
10. Labouvie-Vief G (2003) Dynamic integration: affect, cognition, and the self in adulthood. *Cur Dir Psych Sci* 12: 201–206.
11. Carstensen LL, Fung HH, Charles ST (2003) Socioemotional selectivity theory and the regulation of emotion in the second half of life. *Motiv Emot* 27: 103–123.
12. Carstensen LL, Isaacowitz DM, Charles ST (1999) Taking time seriously: A theory of socioemotional selectivity. *Am Psychol* 54: 165–181.
13. Scheibe S, Carstensen LL (2010). Emotional aging: recent findings and future trends. *J Gerontol B Psychol Sci*, 65B(2), 135–144
14. Isaacowitz DM, Toner K, Neupert SD (2009) Use of gaze for real-time mood regulation: effects of age and attentional functioning. *Psychol Aging* 24: 989–994.
15. Nashiro K, Sakaki M, Mather M (2012) Age Differences in Brain Activity during Emotion Processing: Reflections of Age-Related Decline or Increased Emotion Regulation? *Gerontology* 58: 156–163.
16. Reed AE, Carstensen LL (2012) The theory behind the age-related positivity effect. *Front Psychol* 3: 339.
17. Charles S, Mather M, Carstensen LL (2003) Aging and emotional memory: The forgettable nature of negative images for older adults. *J Exp Psychol Gen* 132: 310–324.
18. Mikels JA, Larkin GR, Reuter-Lorenz PA, Carstensen LL (2005) Divergent trajectories in the aging mind: changes in working memory for affective versus visual information with age. *Psychol Aging* 20: 542–553.
19. Kensinger EA (2008) Age differences in memory for arousing and nonarousing emotional words. *J Gerontol B Psychol Sci* 63: 13–18.
20. Knight M, Seymour TL, Gaunt JT, Baker C, Nesmith K, et al. (2007) Aging and goal-directed emotional attention: distraction reverses emotional biases. *Emotion* 7: 705–714.
21. Rösler A, Ulrich C, Billino J, Sterzer P, Weidauer S, et al. (2005) Effects of arousing emotional scenes on the distribution of visuospatial attention: changes with aging and early subcortical vascular dementia. *J Neurol Sci* 229-230: 109–116.
22. Isaacowitz DM, Wadlinger HA, Goren D, Wilson HR (2006) Selective preference in visual fixation away from

- negative images in old age? An eye-tracking study. *Psychol Aging* 21: 40–48.
23. Mather M, Carstensen LL (2003) Aging and attentional biases for emotional faces. *Psych Science* 12: 761–763.
 24. Samanez-Larkin GR (2011) Introduction to decision making over the life span. *Ann N Y Acad Sci* 1235: v–vi.
 25. Samanez-Larkin G, Carstensen L (2011) Socioemotional functioning and the aging brain. In: Decety J, Cacioppo J, editors. *The Handbook of Social Neuroscience*. New York, NY: Oxford University Press. pp. 507–521.
 26. Mather M, Canli T, English T, Whitfield S, Wais P, et al. (2004) Amygdala responses to emotionally valenced stimuli in older and younger adults. *Psych Science* 15: 259–263.
 27. St Jacques PL, Dolcos F, Cabeza R (2009) Effects of aging on functional connectivity of the amygdala for subsequent memory of negative pictures: a network analysis of functional magnetic resonance imaging data. *Psychological Science* 20: 74–84.
 28. Williams LM, Brown KJ, Palmer D, Liddell BJ, Kemp AH, et al. (2006) The mellow years?: neural basis of improving emotional stability over age. *J Neurosci* 26: 6422–6430.
 29. Leclerc CM, Kensinger EA (2011) Neural processing of emotional pictures and words: a comparison of young and older adults. *Dev Neuropsychol* 36: 519–538.
 30. Wood S, Kisley MA (2006) The negativity bias is eliminated in older adults: age-related reduction in event-related brain potentials associated with evaluative categorization. *Psychol Aging* 21: 815–820.
 31. Kisley MA, Wood S, Burrows CL (2007) Looking at the sunny side of life: age-related change in an event-related potential measure of the negativity bias. *Psych Science* 18: 838–843.
 32. Langeslag SJE, van Strien JW (2009) Aging and emotional memory: the co-occurrence of neurophysiological and behavioral positivity effects. *Emotion* 9: 369–377.
 33. Schupp HT, Cuthbert BN, Bradley MM, Cacioppo JT, Ito T, et al. (2000) Affective picture processing: the late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology* 37: 257–261.
 34. De Cesarei A, Codispoti M (2011) Affective modulation of the LPP and α -ERD during picture viewing. *Psychophysiology* 48: 1397–1404.
 35. Ferrari V, Codispoti M, Cardinale R, Bradley MM (2008) Directed and motivated attention during processing of natural scenes. *J Cogn Neurosci* 20: 1753–1761.
 36. Hajcak G, Nieuwenhuis S (2006) Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures. *Cogn Affect Behav Neurosci* 6: 291–297.
 37. Mather M, Knight MR (2006) Angry faces get noticed quickly: threat detection is not impaired among older adults. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 61: 54–57.
 38. Streubel B, Kunzmann U (2011) Age differences in emotional reactions: Arousal and age-relevance count. *Psychol Aging* 26: 966–978.
 39. Gruhn D, Scheibe S (2008) Age-related differences in valence and arousal ratings of pictures from the International Affective Picture System (IAPS): Do ratings become more extreme with age? *Behav Res Methods* 40: 512–521.
 40. Dolan RJ (2002) Emotion, cognition, and behavior. *Science* 298: 1191–1194.
 41. Kensinger EA, Corkin S (2004) Two routes to emotional memory: Distinct neural processes for valence and arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101: 3310–3315.
 42. Leclerc CM, Kensinger EA (2008) Effects of age on detection of emotional information. *Psychol Aging* 23: 209–215.
 43. Mather M, Knight M, McCaffrey M (2005) The allure of the alignable: younger and older adults' false memories of choice features. *J Exp Psychol Gen* 134: 38–51.
 44. Bargh JA, Chaiken S, Gollwitzer PM, Pratto F (1992) The generality of the automatic attitude activation effect. *J Pers Soc Psychol* 62: 893–912.
 45. Smith NK, Larsen JT, Chartrand TL, Cacioppo JT, Katsifiasz HA, et al. (2006) Being bad isn't always good: affective context moderates the attention bias

- toward negative information. *J Pers Soc Psychol* 90: 210–220.
46. Isaacowitz DM, Toner K, Goren D, Wilson HR (2008) Mood-Congruent Gaze in Young Adults, Positive Gaze in Older Adults. *Psych Science* 19: 848–854.
 47. Schupp HT, Flaisch T, Stockburger J, Jungho M (2006) Emotion and attention : event-related brain potential studies. *Brain* 156: 31–51.
 48. Lang PJ, Bradley MM, & Cuthbert BN (2005). International affective picture system (IAPS): Digitized photographs, instruction manual and affective ratings (Tech. Rep. No. A-6). University of Florida, Gainesville, FL.
 49. Jasper H (1958) The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroen Clin Neuro* 10: 371–375.
 50. Oostenveld R, Praamstra P (2001) The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clin Neurophysiol* 112: 713–719.
 51. Bradley MM, Hamby S, Löw A, Lang PJ (2007) Brain potentials in perception: picture complexity and emotional arousal. *Psychophysiology* 44: 364–373.
 52. Langeslag SJE, Van Strien JW (2010) Comparable Modulation of the Late Positive Potential by Emotion Regulation in Younger and Older Adults. *J Psychophysiol* 24: 186–197.
 53. Langeslag SJE, Van Strien JW (2008) Age differences in the emotional modulation of ERP old/new effects. *Int J Psychophysiol* 70: 105–114.
 54. Ferrari V, Bradley MM, Codispoti M, Lang PJ (2011) Repetitive exposure: brain and reflex measures of emotion and attention. *Psychophysiology* 48: 515–522.
 55. Ito TA, Cacioppo JT (2005) Variations on a human universal: Individual differences in positivity offset and negativity bias. *Cognition and Emotion* 19: 1–26.
 56. Rozin P, Royzman EB (2001) Negativity Bias, Negativity Dominance, and Contagion. *Pers Soc Psychol Rev* 5: 296–320.
 57. Briggs KE, Martin FH (2008) Target processing is facilitated by motivationally relevant cues. *Biol Psychol* 78: 29–42.
 58. LeDoux JE (1995) Emotion: clues from the brain. *Annu Rev Psychol* 46: 209–235.
 59. Wieser MJ, Mühlberger A, Kenntner-Mabiala R, Pauli P (2006) Is emotion processing affected by advancing age? An event-related brain potential study. *Brain Res* 1096: 138–147.
 60. Keil A, Freund AM (2009) Changes in the sensitivity to appetitive and aversive arousal across adulthood. *Psychol Aging* 24: 668–680.

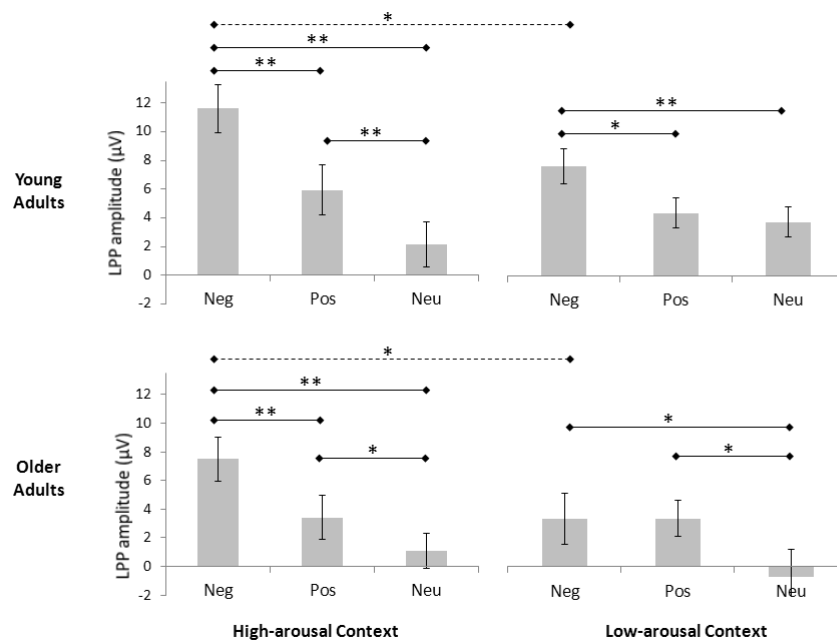
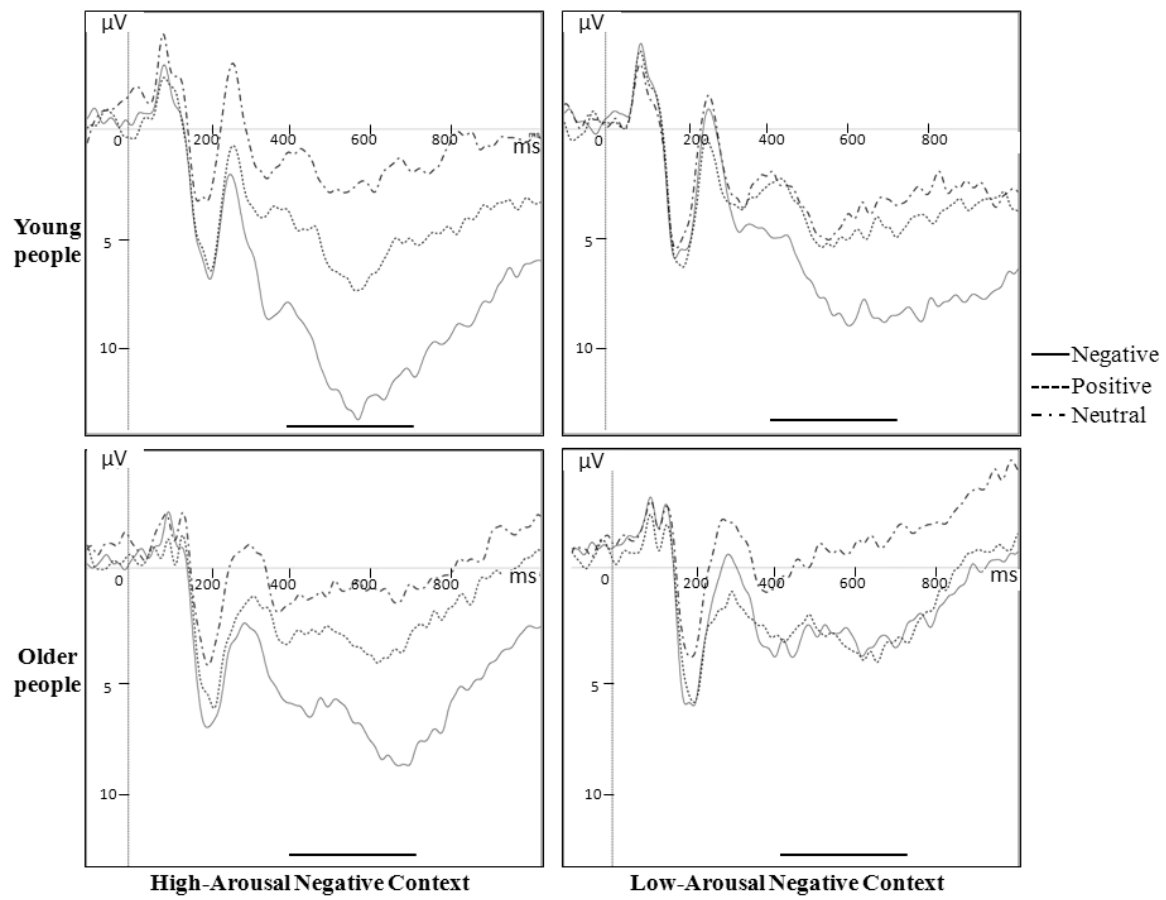
Figure Captions

Figure 1

ERP waveform at PZ for each context and valence: Grand average of event-related potentials at Pz electrode in response to the negative, positive and neutral pictures during high-arousal negative and low-arousal negative contexts according to age group. Positive values are oriented downwards. The continuous line in bold delimits the analysis time-window of LPP amplitude.

Figure 2

LPP value for each block and valence: LPP mean amplitude value evoked by negative (Neg.), positive (Pos.) and neutral (Neu.) pictures during high-arousal negative and low-arousal negative contexts for each age group and results of post-hoc comparisons. ** 0.01 significant threshold, * 0.001 significant threshold.



ANNEXE B – Article 2

Single-trial ERP classification of emotional processing.

N.G. Mathieu, S. Bonnet, S. Harquel, E. Gentaz, A. Campagne. (2013).

IEEE – EMBS *The 6th international conference on Neural Engineering*, 6th-8th November
2013. San Diego, CA, USA.

Abstract— This paper investigates human emotion recognition based on event-related potentials (ERPs) in EEG elicited by picture presentation. Emotion is manipulated through arousal and valence with a calibrated picture dataset. A classification framework is designed for single-trial ERP classification. The most discriminative spatio-temporal features of emotional states were selected and fed to a shrinkage linear discriminant classifier. Various binary classifications were tested according to the emotional valence (positive, negative, neutral) and the arousal level (low, high and no excitation). High classification rate (87%) was obtained for the discrimination between the high-arousal (HA) and low-arousal (LA) negative conditions. Relative good performances were also observed for the (extreme) case “HA negative versus neutral conditions” (66%). Our results suggest that the discrimination of emotional states is better when it is mainly based on an arousal difference between stimuli rather than on a valence difference.

INTRODUCTION

Brain-Computer Interfaces (BCIs) have been widely developed during the last decade [1]. They intend to offer new communication and control channels for motor-disabled persons. BCIs usually rely on specific brain patterns that can be either evoked like in P300 speller applications or voluntarily produced like in motor imagery

applications [1]. Another field of interest concerns the automatic emotion recognition from physiological signals. Such emotional BCIs are somewhat different from the previous type since they do not require explicit control. As such, they can enrich the human-machine interface with additional user information in order for the system to adapt to the actual emotional state of the individual. This concept can be enlarged to the monitoring of other mental states like workload or mental fatigue and it has been termed recently under the name of passive BCI [2].

Several applications have been suggested using emotional BCIs. For example, an audio player system can automatically select a song from a playlist depending on the user’s mood state [3] or a system can adapt the difficulty of a video game on the basis of the stress level of the player [3]. Other emotional BCI systems may be based on emotions evoked by a specific event of the environment. For example, an automatic system can automatically tag the multimedia emotional content in the context of a social website [4].

Mood states and various stimuli-evoked emotions are underpinned by specific brain processes and they are associated with different subjective feelings and changes in autonomic body state [3]. Most of the algorithms for Human Emotion Recognition are based on spectral analysis of electroencephalographic (EEG) recordings. Discriminant features are mostly based on low-frequency bandpower [4–6]. Using single-trial binary EEG classifiers, Koelstra [6] reported that the *alpha* (8-12 Hz) and *theta* bands (3-8 Hz) were respectively the most discriminative frequency bands in the classification of arousal level and valence of 30-second music clips. They obtained a mean classification rate of 55.7% for arousal and 58.8% for valence.

N.G. Mathieu, A. Campagne and E. Gentaz are with LPNC CNRS – UMR 5105, UPMF BP47 Cedex 9 F-38040 Grenoble (FRANCE) (e-mail: nicolas.mathieu@gmail.com, aurelie.campagne@upmf-grenoble.fr, egentaz@upmf-grenoble.fr).

S. Bonnet is with CEA Leti, MINATEC Campus, DTBS, F-38054 Grenoble (FRANCE) (corresponding author, tel: 33 (0)4 38 78 40 70; fax: 33 (0)4 38 78 54 56; e-mail: stephane.bonnet@cea.fr).

S. Harquel is with CNRS, UMS IRMaGe 3552, F-38043 Grenoble (FRANCE). (e-mail: sylvain.harquel@upmf-grenoble.fr)

In this paper, we propose to use event-related potential (ERP) signals for emotion recognition instead of spectral features. Indeed many neuropsychology studies have illustrated a high sensibility of ERP components to the different emotional stimuli properties. It is the case of the Late Positive Potential (LPP) peaking at centro-parietal site (Pz) between 400 and 900ms from stimulus onset. This slow positive wave reflects both the attentional allocation and motivational significance [7] and the LPP is modulated by the emotional valence and the arousal level of stimuli [8]. Other ERP components such as P1 (110ms) and N2 (240ms) peaking at occipital sites as the later P3 (300ms), would also be modulated by the valence and the arousal level of stimuli but these observations are less recurrent in the literature compared to or LPP [9], [10]. Few algorithms for human emotion recognition are based on ERP data. Remarkably, Schuster [11] obtained classification accuracies (72%) using a kNN classifier to distinguish between three-emotional valences.

In this paper, we investigate a new methodology to assess the performances of human emotion recognition for single-trial ERP data. In our research, two properties of emotional stimuli were manipulated: the emotional valence and the arousal level.

METHODOLOGY

Experimental design

In the proposed experiment, the participants performed an emotional categorization task on displayed pictures. Visual scenes were chosen in order to directly involve the participant. In order to get a large collection of pictures, visual scenes were selected from the International Affective Picture System (IAPS) [12], Internet (not copyrighted) and an in-house database. **Negative scenes**, associated to a fear emotion, include dangerous animals (spiders, snakes...), unsafe environments (tornadoes, fires...) and aggressive people (carrying weapons, angry expressions...). **Positive scenes**, associated to a well-being emotion, include images showing happy people, friendly animals and idyllic landscapes. **Neutral scenes** include the same type

of stimuli (animals, environments and people) in neutral situations. A pre-test performed on 34 subjects allows defining a calibrated set of 60 negative, 60 positive and 60 neutral stimuli. Negative stimuli were further subdivided into 2 groups depending on their arousal level, i.e. 30 low-arousal (LA) negative stimuli and 30 high-arousal (HA) negative stimuli. The mean reported arousal level of each picture is reported in Figure 1. The luminosity and contrast were corrected to be similar between the 4 categories of pictures.

In the experiment, each picture is randomly presented, during 1 second, after a fixation cross. After each picture presentation, the participant is asked to indicate its feeling (well-being, fear or neutral) by using the keyboard. The 12 participants (25.5 ± 3.9 years old) are also instructed to limit their blinks and eyes movements during the trial.

Data acquisition

The EEG activity was recorded using a BrainAmpTM system and an Acticap® (Brain Products, Inc.) equipped with 78 Ag-AgCl unipolar active electrodes positioned according to the extended 10-20 system. Signals were referenced relative to both mastoids. Data were sampled to 1 kHz with a $0.1\mu\text{V}$ resolution and a 10-s time constant high-pass filter.

Signal processing

Each picture presentation elicits an event-related potential (ERP) that is modulated by the valence/arousal of the stimulus [10]. The objective of the signal processing task is to distinguish two different arousal levels and/or two different valences based on the analysis of these ERP waveforms. To this end, a machine learning strategy is proposed with 1) spatial filtering 2) feature selection and 3) binary classification.

The EEG signals were first down-sampled at 200Hz, and filtered between 1 and 30 Hz with a fifth-order Butterworth bandpass filter. Data were then segmented into 1-s epochs from stimulus onset and baseline corrected to the 200ms preceding the stimulus onset.

Following the same methodology used for the P300 speller [12], a spatial filtering was then implemented to decrease the number of electrodes and to maximize differences between brain potentials evoked by the two different conditions. The generative EEG signal model is given by

$$\mathbf{X} = \mathbf{D}_1 \mathbf{D}_2 \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 \\ \mathbf{P}_2 \end{bmatrix} + \mathbf{N} = \mathbf{D}\mathbf{P} + \mathbf{N} \quad (1)$$

where \mathbf{X} is the $T \times E$ bandpass EEG matrix with T , the total number samples of EEG data, \mathbf{D}_1 and \mathbf{D}_2 are Toeplitz binary sparse matrices with dimensions $T \times T_{erp}$ with T_{erp} , the number of samples contained in the ERP waveform, \mathbf{P}_1 and \mathbf{P}_2 were stereotypical evoked response matrices with dimensions $T_{erp} \times E$ and \mathbf{N} is an additional noise term. The quantity $\mathbf{D}_1\mathbf{P}_1$ corresponds to the specific response for a given stimulus (class 1) whereas $\mathbf{D}_2\mathbf{P}_2$ corresponds to the common response of all stimuli (class 1 and 2).

The stereotypical responses contained in \mathbf{P} are estimated by solving in the least squares sense the following problem:

$$\mathbf{P} = \min_{\mathbf{P}} \|\mathbf{X} - \mathbf{D}\mathbf{P}\|_F^2 \quad (2)$$

The spatial filters are then found by maximizing the Rayleigh quotient, expressing the ratio of the two variances

$$\rho(\mathbf{w}, \mathbf{X}) = \frac{\mathbf{w}^T \mathbf{D}_1 \mathbf{P}_1^T \mathbf{D}_1 \mathbf{P}_1 \mathbf{w}}{\mathbf{w}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X} \mathbf{w}} \quad (3)$$

This criterion is maximized by solving a generalized eigenvalue problem. According to (3), spatial filters are designed to enhance the ratio between the Signal and the Signal plus Noise (SSNR) $\rho(\mathbf{w}, \mathbf{X})$. New virtual sensors signals \mathbf{z} are computed by the application of the spatial filters on the actual sensors EEG signals \mathbf{X} .

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{X}\mathbf{w}_k \quad (4)$$

The three highest SSNR virtual electrodes are kept for the classification. Classification features are finally obtained by computing the mean signal amplitude in 4 subject-independent time intervals, based on valence and/or arousal discriminant ERP latencies, reported in literature [10]. The interval 100 to 120ms, 230 to 250ms, 250 to 350ms and 600

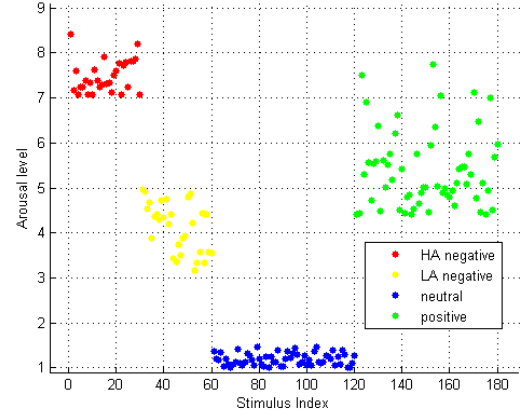


Figure 47: Emotional categorization of pictures. Arousal level is defined on a continuous scale ranging from 1 to 9, 1 corresponding to a “calm state” and 9 corresponding to an “excited state” (high-

to 900ms were chosen for P1, N2, P3 and LPP respectively.

Finally, a single-trial classification was performed with a shrinkage linear discriminant analysis (shLDA) given the low number of trials available in this study for the learning of the classifier parameters [13]. Our feature vectors include 12 values (i.e. the mean amplitude values for the 4 time intervals x 3 virtual sensors). This number is in good accordance with the number of available trials (i.e. 60 trials in the worst binary configuration). The classifier’s performances were evaluated for each participant by a leave-one-out cross-validation method and the results were averaged across participants.

Different binary classifiers, listed in table 1, have been tested to classify either opposite valence& arousal (c1), valence (c2), arousal at fixed valence (c3), valence at fixed arousal (c4a, c4b).

TABLE I. BINARY EMOTIONAL CLASSIFIERS

C1	HA Negative	Neutral
C2	Positive + HA + LA Negative	Neutral
C3	HA Negative	LA Negative
C4a	LA Negative	Positive
C4b	HA + LA Negative	Positive

RESULTS

Spatial filtering

The inter-subject spatial filters are shown in Figure 2. These filters were obtained by aggregating the z-score normalized trials of all participants in one super-subject and by applying the methodology described in section II.C. The topographic analysis, for the C1 classification problem, demonstrates that the left occipital and right parietal electrodes were heavily weighted for the first virtual sensor whereas the second one used more bi-lateral occipital electrodes. For the third virtual sensor, the considered electrodes were rather central and centro-parietal. These observations are not surprising given the results of ERP studies. Indeed, higher activities were observed for emotional visual stimuli in the occipital areas for early components [9] and in the midline centro-parietal areas for late components [8].

ERP grand-average

ERP grand-averages are also well in accordance with the literature regarding to the peak latencies. For instance, the second virtual sensor exhibits two ERP components P1 and N2, around 110ms and 250ms in occipital areas for visual stimuli. The slow-wave LPP (peaking between 500 and 900 ms in centro-parietal regions) may justify the first virtual electrode and the fifth selected time interval. Finally, the ERP components, P2 (parieto-occipital area), P3a (central area) and P3b (parietal area) are probably measured in the second, third and fourth selected time-intervals and may justify the third

virtual sensor. These observations justify our choice for the time-windows chosen for feature extraction.

Classification results

In the table 2, the mean classification rates obtained for each classifier configuration are reported. The classification rates of the five configurations were statistically above the chance level except for c4b ($p < 0.05$, uncorrected t-test). High performances were obtained when classifying arousal at fixed valence (c3) with a mean classification accuracy of 84%. The lowest performances were obtained when attempting to classify valence (c2) and valence at fixed arousal (c4b) with mean rates of 54 % and 48% respectively. To better understand classification performances, true positive rate based solely on behavioral response are also calculated. 87% of Positive scenes have been correctly labeled, 98% for HA Negative, 79% for LA Negative and 90% for neutral. We can observe the lowest consensus between participants for the LA Negative pictures.

TABLE II. CLASSIFICATION RATES OBTAINED FOR THE 5 EMOTIONAL ERP CLASSIFIERS

	C1	C2	C3	C4a	C4b
Mean (SD)	66% (5.7%)	54% (6.4%)	87% (7.5%)	60% (5.1%)	68% (7.3%)

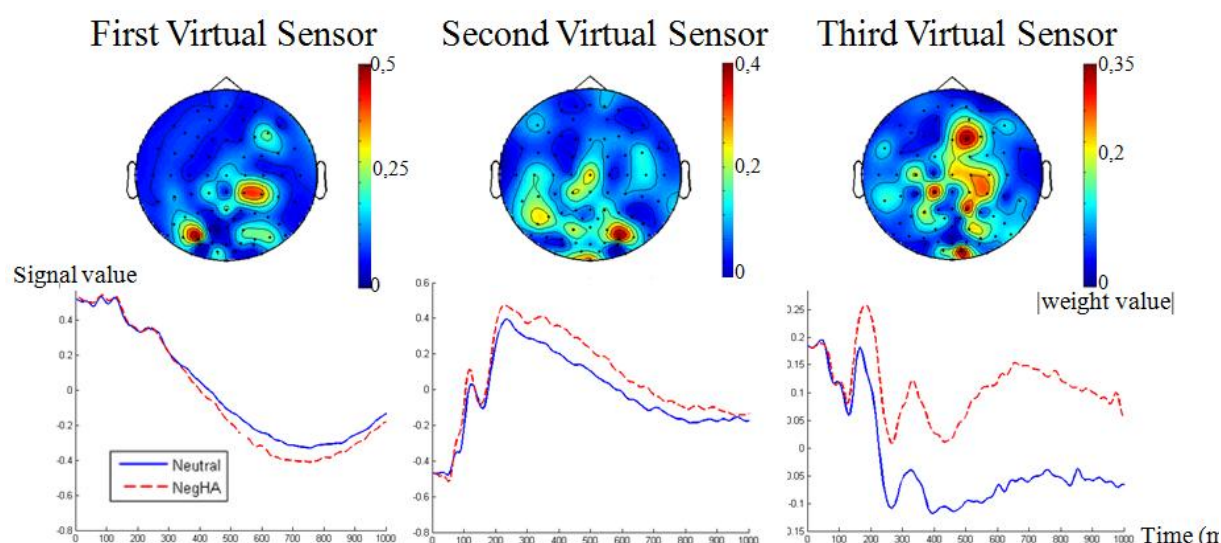


Figure 2: Results for the three first virtual sensors calculated for the discrimination between HA Negative and Neutral (c1). Top row: Topography of the absolute weight of the spatial filter calculated with \mathbf{D}_1 containing HA negative stimuli index and \mathbf{D}_2 HA negative and neutral

Discussion

The aim of this study was to propose a new single-trial classification methodology of emotions induced by natural scenes on basis of ERP. Our methodology appears efficient to keep the most discriminative data given the well coherence between observations made in neuropsychology studies and the features extracted in our study. Spatial filtering allows a remarkable feature reduction while minimizing the loss of discriminant information contained in EEG signals.

In one hand, results revealed high performances for one binary classifier focused on arousal (i.e. HA Negative versus LA Negative). Correct results are obtained for extreme opposition in terms of emotion (i.e. HA Negative versus Neutral). In the other hand, the proposed classifier is rather inefficient neither to discriminate valence at fixed arousal nor emotional versus neutral image content. Overall, our results suggest that the discrimination of emotional states by classification algorithm is better when it is mainly based on an arousal difference between stimuli rather than on a valence difference. Indeed, it is well known that ERP differences between negative and positive valences tend to disappear when their arousal level is similar [7], [8].

Furthermore, the learning and validation stages were performed from emotional categories previously defined in the pre-test experiment and, thus, without considering the real emotional experience reported by our participants. With respect to the pre-test group, the categorization response could differ up to 20% (for LA Negative) with the expected response. These differences may be interpreted as some kind of noise labeling and are a known issue in affective computing. Our results could be further improved by dealing with such labeling noise to better match the subject's specificity with respect to emotional processing and elicitation.

The overall performances could also be improved by defining more precisely, and in a subject-dependent manner, the time intervals chosen for feature extraction. A strategy to automatically choose the components latencies, that vary from a subject to another, could be based on the global field power criterion [14]. To avoid an arbitrarily selection of the number of virtual sensors and increase classification rates, a methodology could be proposed on a specific criteria (e.g. on the

SSNR of virtual sensors) to select the more efficient number of virtual sensors. Finally, the results of our methodology are encouraging since only EEG signals were used for the analysis but include more participants and extend the age span are required to validate it. Combined with other peripheral signals such as eye gaze, heart rate or skin conductance, the performances may significantly increase. The application of our methodology to several combined signals is a next step for this work.

REFERENCES

- [1] J. Wolpaw and E. W. Wolpaw, *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*, Oxford University Press, 2012.
- [2] T. O. Zander and C. Kothe, "Towards passive brain-computer interfaces: applying brain-computer interface technology to human-machine systems in general," *Journal of neural engineering*, vol. 8, no. 2, p. 025005, Apr. 2011.
- [3] G. G. Molina, T. Tsoneva, and A. Nijholt, "Emotional brain-computer interfaces," in *2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops*, 2009, pp. 1–9.
- [4] M. Soleymani, M. Pantic, and T. Pun, "Multimodal Emotion Recognition in Response to Videos," *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 3, no. 2, pp. 211–223, Apr. 2012.
- [5] M. Murugappan, "Inferring of Human Emotional States using Multichannel EEG," *European Journal of Scientific Research*, vol. 48, no. 2, pp. 281–299, 2010.
- [6] S. Koelstra, A. Yazdani, M. Soleymani, and C. Mühl, "Single trial classification of EEG and peripheral physiological signals for recognition of emotions induced by music videos," *Brain Informatics*, pp. 1–12, 2010.
- [7] A. De Cesare and M. Codispoti, "Affective modulation of the LPP and α -ERD during picture viewing," *Psychophysiology*, vol. 48, no. 10, pp. 1397–1404, Oct. 2011.
- [8] M. M. Bradley, S. Hamby, A. Löw, and P. J. Lang, "Brain potentials in perception: picture complexity and emotional arousal," *Psychophysiology*, vol. 44, no. 3, pp. 364–373, May 2007.
- [9] S. Delplanque, M. Lavoie, P. Hot, L. Silvert, and H. Sequeira, "Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans," *Neuroscience letters*, vol. 356, no. 1, pp. 1–4, Feb. 2004.
- [10] J. K. Olofsson, S. Nordin, H. Sequeira, and J. Polich, "Affective picture processing: an integrative review of ERP findings," *Biological psychology*, vol. 77, no. 3, pp. 247–65, Mar. 2008.
- [11] T. Schuster, S. Gruss, H. Kessler, A. Scheck, H. Hoffmann, and H. Traue, "EEG: Pattern Classification During Emotional Picture Processing," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments - PETRA '10*, 2010, p. 1.
- [12] B. Rivet, H. Cecotti, and A. Souloumiac, "Theoretical analysis of xDAWN algorithm: application to an efficient sensor selection in a P300 BCI," *EUSIPCO*, no. Eusipco, 2011.
- [13] B. Blankertz, S. Lemm, M. Treder, S. Haufe, and K.-R. Müller, "Single-trial analysis and classification of ERP components--a tutorial," *NeuroImage*, vol. 56, no. 2, pp. 814–25, May 2011.
- [14] N. Jrad and M. Congedo, "Identification of spatial and temporal features of EEG," *Neurocomputing*, vol. 90, pp. 66–71, Mar. 2012.

ANNEXE C - Tests Neuropsychologiques

Annexe C – 1 :MMSE (Mini Mental State Examination)

(Mini-Mental State ou MMSE, test de Folstein) version GRECO consensuelle.

1) Objectif de l'outil

- Outil de **dépistage** rapide des déficits cognitifs et de **suivi**.
- Evaluation du stade de **gravité**.

2) Travaux de validation

Le MMS ne permet pas à lui seul de définir la nature du déficit cognitif ni de porter le diagnostic de démence. Il est inclus dans les recommandations pratiques de l'ANAES pour le diagnostic de la maladie d'Alzheimer.

L'âge et le niveau socio-culturel du patient doivent être pris en considération dans l'interprétation du résultat d'un examen neuropsychologique :

Il existe des patients (le plus souvent plutôt jeunes et de haut niveau socio-culturel) qui sont déments avec un MMS à 28, par exemple.

Inversement, il existe des patients (le plus souvent plutôt âgés et de faible niveau socio-culturel) qui ne sont pas déments malgré un MMS à 20 par exemple.

Normes selon le NSC pour les classes d'âge **50 à 79 ans**. Médiane, centile 5 et centile 10

NSC	1 Pas de C E	2 C E	3 Brevet	4 Bac et +
Médiane (C50)	28	28	28	29
Centile 10	24	25	26	27
Centile 5 seuil pathologique	22	23	25	26

KALAFAT M., HUGONOT-DIENER L., POITRENAUD J. Etalonnage français du MMS version GRECO. *Revue de neuropsychologie*. 2003. 13 ; 2 : 209-236.

Après 80 ans de façon grossière : il faut enlever un point à chaque norme.

3) Principe et cotation (cf. document annexe)

L'état affectif et le niveau de vigilance du patient doivent aussi être pris en considération dans l'interprétation du résultat d'un examen neuropsychologique.

Date :

Code Sujet :

MMSE /30

Je vais vous poser quelques questions pour apprécier comment fonctionne votre mémoire. Les unes sont très simples, les autres un peu moins. Vous devez répondre du mieux que vous pouvez.

1 – ORIENTATION

« Quelle est la date complète d'aujourd'hui ? »

si la réponse est incomplète, posez les questions restées sans réponse, dans l'ordre suivant :

- 1- En quelle année sommes-nous ? .../1
- 2- En quelle saison ? .../1
- 3- En quel mois ? .../1
- 4- Quel jour du mois ? .../1
- 5- Quel jour de la semaine ? .../1

« Je vais vous poser maintenant des questions sur l'endroit où nous nous trouvons. »

- 6- Quel est le nom de l'Hôpital où nous sommes ? .../1
- 7- Dans quelle ville se trouve-t-il ? .../1
- 8- Quel est le nom du département dans lequel est située cette ville ? .../1
- 9- Dans quelle province ou région est situé ce département ? .../1
- 10- A quel étage sommes-nous ? .../1

**Sous-Score :
/10**

2 – APPRENTISSAGE

« Je vais vous donner trois mots ; je voudrais que vous me les répétiez et que vous essayiez de les retenir car je vous les redemanderai tout à l'heure ».

- 11- Cigare ou Citron ou Fauteuil .../1
- 12- Fleur ou Clé ou Tulipe .../1
- 13- Porte ou Ballon ou Canard .../1

Sous-Score :

/3

3 – ATTENTION

« Voulez-vous compter à partir de 100 en retirant 7 à chaque fois ? »

- 14- (100 – 7 = 93) .../1
- 15- (93 – 7 = 86) .../1
- 16- (86 – 7 = 79) .../1
- 17- (79 – 7 = 72) .../1
- 18- (72 – 7 = 65) .../1

Sous-

Score : /5

Pour tous les sujets, même pour ceux qui ont obtenu le maximum de points, demander :

« Voulez-vous épeler le mot MONDE à l'envers ? »

Réponse : EDNOM .../5
global.

Ce chiffre NE DOIT PAS figurer dans le score

4 – RAPPEL

« Pouvez-vous me dire quels étaient les 3 mots que je vous ai demandés de répéter et de retenir tout à l'heure ? »

19-	Cigare	ou	Citron	ou	Fauteuil	.../1
20-	Fleur	ou	Clé	ou	Tulipe	.../1
21-	Porte	ou	Ballon	ou	Canard	.../1

Sous-

Score : /3

5 – LANGAGE

22- Montrer un crayon :

.../1

« Quel est le nom de cet objet ? »

23- Montrer votre montre :

.../1

« Quel est le nom de cet objet ? »

24- « Ecoutez bien et répétez après moi : Pas de Mais, de si, ni de et »

.../1

25- Poser une feuille de papier sur le bureau, la montrer au sujet en lui disant :

« Ecoutez bien et faites ce que je vais vous dire.

Prenez cette feuille de papier avec votre main droite. »

.../1

26- « Pliez la en deux »

.../1

27- « Et jetez la par terre »

.../1

28- Tendre au sujet une feuille de papier sur laquelle est écrit en gros caractères :

« FERMEZ LES YEUX » et dire au sujet :

« Faites ce qui est écrit »

.../1

29- Tendre au sujet une feuille de papier et un stylo, en disant :

« Voulez-vous m'écrire une phrase, ce que vous voulez, mais une phrase entière. »

.../1

Sous-

Score : /8

6 – PRAXIES CONSTRUCTIVES

30- Tendre au sujet une feuille de papier et lui demander :

« Voulez-vous recopier ce dessin ? »

.../1

Sous-

Score : /1

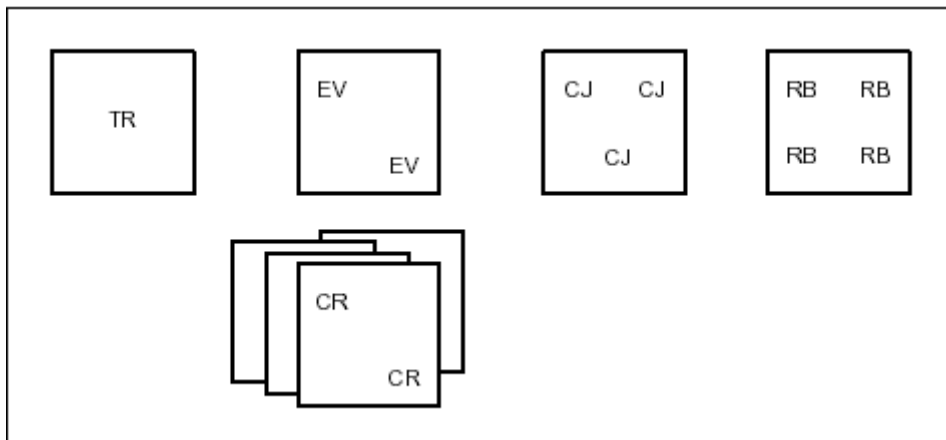
Annexe C – 2: Wisconsin Card Sorting Test : Test d'association de cartes

Source

Nelson, H.E. (1976). A modified card sorting test sensitive to frontal lobe defects. *Cortex*, 12, 313-324.

Matériel

- 4 cartes cibles
- jeu de 24 cartes de classement (utilisé deux fois de suite)
- chronomètre



TR = triangle rouge ; EV = étoile verte ; CJ = croix jaune ; RB = rond bleu

Administration

Consignes

"Vous avez ici quatre cartes différentes : un triangle rouge, deux étoiles vertes, trois croix jaunes, quatre ronds bleus

(ces cartes sont placées en ligne, de gauche à droite, face au sujet).

Je vais faire défiler devant vous, une à une, chacune des cartes de ce paquet

(montrer le jeu des cartes de classement et faire défiler quelques cartes)."

"Je vous demande d'associer, d'assortir chacune des cartes que je vous montre avec l'une des quatre cartes qui sont devant vous *(les montrer à nouveau)* en fonction d'un critère, d'une règle de votre choix." "La particularité du test est que je ne dois pas vous dire quelle est la règle. Je vous demande de la trouver vous-même en essayant les différentes règles possibles."

"Cependant, chaque fois que vous me montrerez du doigt une des quatre cartes, je vous dirai 'Oui' ou 'Non'. Si je vous dis 'Oui', vous devez conserver la même règle pour la carte suivante ; si je vous dis 'Non', vous devez changer de règle pour associer les cartes. Maintenant, allez-y, essayez de trouver une règle."

Une fois ces consignes données, quelle que soit la catégorie choisie par le sujet, elle est considérée comme correcte et, si les réponses suivantes obéissent à ce même critère, elles

sont correctes. Après six réponses correctes consécutives, l'examineur dit : "**Maintenant, la règle change, vous devez trouver une autre règle.**"

Dès que le sujet choisit un deuxième critère (règle), celui-ci est considéré comme correct, et si les réponses suivantes obéissent à ce même critère, elles sont correctes. En cas d'échec, le sujet ne peut pas revenir à la carte précédente. Dès que le sujet a donné sa réponse, la carte est retournée. Cependant, si le sujet en fait la demande, la carte qui lui avait été présentée pour l'essai précédent peut lui être remontrée. La procédure est semblable pour le troisième critère. Le sujet doit nécessairement trouver les trois critères, dans n'importe quel ordre (par exemple *Forme puis Couleur puis Nombre*, ou *Nombre puis Couleur puis Forme*), avant de répéter une catégorie déjà utilisée. Ensuite, l'examineur impose au sujet de répéter les trois critères possibles dans le même ordre, mais sans le dire au sujet (par exemple, s'il a fait *Forme puis Couleur puis Nombre*, il doit reprendre *Forme puis Couleur puis Nombre*). Le test est terminé soit quand les six catégories (2×3) ont été réalisées, soit quand les 48 cartes sont épuisées. L'examineur ne peut fournir au sujet aucune aide non prévue par les consignes, notamment au passage du troisième au quatrième choix (lorsque certains sujets cherchent vainement une quatrième règle). Attention : après 6 erreurs consécutives commises par le sujet, l'examineur lui rappelle la consigne.

L'examineur doit impérativement éviter de donner au sujet toute autre forme d'aide.

Cotation

1. Temps nécessaire
2. Nombre de catégories terminées (max. = 6)
3. Nombre de cartes nécessaires pour atteindre les six catégories
4. Nombre d'erreurs (nombre de 'Non' dits par l'examineur)
5. Nombre d'erreurs persévératives (EP)
6. Pourcentage d'erreurs persévératives : $EP / \text{Nombre total d'erreurs} \times 100$
7. Nombre d'abandons prématurés du critère.

Erreur persévérative (EP) : lorsque la réponse erronée correspond à la catégorie utilisée par le sujet

pour sa réponse précédente (c'est-à-dire lorsque le patient persiste dans une catégorie malgré le fait

que l'examineur lui ait signalé que sa réponse était incorrecte ou que la règle a changé).

Abandon prématuré du critère : lorsque le sujet donne deux (ou plus) réponses consécutives

correctes dans une catégorie, et qu'ensuite il change de règle.

Exemple :

Numéro Carte Examineur

- 1 Forme Oui
- 2 Forme Oui
- 3 Couleur Non
- 4 Nombre Non
- 5 Couleur Non
- 6 Forme Oui
- 7 Forme Oui
- 8 Forme Oui
- 9 Forme Oui
- 10 Forme Oui

11 Forme Oui

"Maintenant, la règle change, vous devez trouver une autre règle"

12 Nombre Oui

13 Couleur Non

14 Forme Non

15 Forme Non

16 Couleur Non

17 Couleur Non

18 Nombre Oui

19 Nombre Oui

20 Forme Non

21 Nombre Oui

22 Nombre Oui

23 Nombre Oui

24 Couleur Non

Dans cet exemple, aux lignes 3-4-5-13-14-16, les erreurs sont non persévératives. Aux lignes 15 et 17, les erreurs sont persévératives. Aux lignes 3, 20 et 24, on a des abandons prématurés du critère (attention : à la ligne 13, on ne parle pas d'abandon prématuré du critère car la réponse incorrecte n'est précédée que par une seule réponse correcte).

Annexe C – 3 : Questionnaire Abrégé de Beck*Traduction française : P. Pichot*

Code Sujet :

Date :

Instructions :

Ce questionnaire comporte plusieurs séries de quatre propositions.

Pour chaque série, lisez les quatre propositions, puis choisissez celle qui décrit le mieux votre état actuel.

Entourez le numéro qui correspond à la proposition choisie.

Si, dans une série, plusieurs propositions vous paraissent convenir, entourez les numéros

A	Je ne me sens pas triste.	0
	Je me sens cafardeux ou triste.	1
	Je me sens tout le temps cafardeux ou triste, et je n'arrive pas en sortir.	2
	Je suis si triste et si malheureux, que je ne peux pas le supporter.	3
B	Je ne suis pas particulièrement découragé, ni pessimiste au sujet de l'avenir.	0
	J'ai un sentiment de découragement au sujet de l'avenir.	1
	Pour mon avenir, je n'ai aucun motif d'espérer.	2
	Je sens qu'il n'y a aucun espoir pour mon avenir, et que la situation ne peut s'améliorer.	3
C	Je n'ai aucun sentiment d'échec de ma vie.	0
	J'ai l'impression que j'ai échoué dans ma vie plus que la plupart des gens.	1
	Quand je regarde ma vie passée, tout ce que j'y découvre n'est qu'échecs.	2
	J'ai un sentiment d'échec complet dans toute ma vie personnelle (dans mes relations avec mes parents, mon mari, ma femme mes enfants)	3
D	Je ne me sens pas particulièrement insatisfait.	0
	Je ne sais pas profiter agréablement des circonstances.	1
	Je ne tire plus aucune satisfaction de quoi que ce soit.	2
	Je suis mécontent de tout.	3
E	Je ne me sens pas coupable.	0
	Je me sens mauvais ou indigne une bonne partie du temps.	1
	Je me sens coupable.	2
	Je me juge très mauvais, et j'ai l'impression que je ne vauds rien.	3
F	Je ne suis pas déçu par moi-même.	0
	Je suis déçu par moi-même.	1
	Je me dégoûte moi-même.	2
	Je me hais.	3
G	Je ne pense pas à me faire du mal.	0
	Je pense que la mort me libérerait.	1
	J'ai des plans précis pour me suicider.	2
	Si je le pouvais, je me tuerais.	3
H	Je n'ai pas perdu l'intérêt pour les autres gens.	0
	Maintenant je m'intéresse moins aux autres gens qu'autrefois.	1
	J'ai perdu tout l'intérêt que je portais aux gens et j'ai peu de sentiments pour eux.	2
	J'ai perdu tout l'intérêt pour les autres, et ils m'indiffèrent totalement.	3
I	Je suis capable de me décider aussi facilement que de coutume.	0
	J'essaie de ne pas avoir à prendre de décision.	1
	J'ai de grandes difficultés à prendre des décisions.	2
	Je ne suis plus capable de prendre la moindre décision.	3

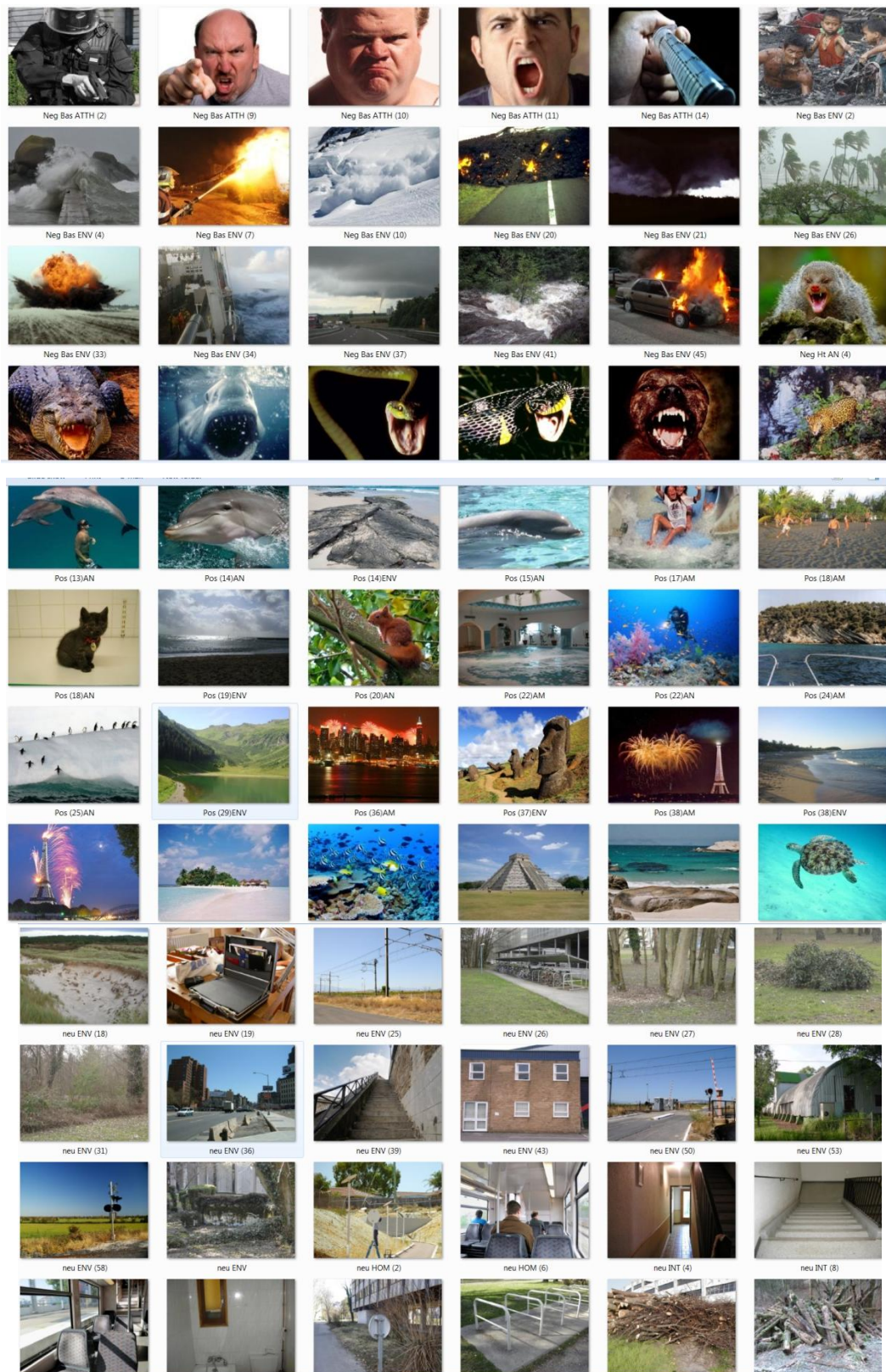
correspondants.

J	Je n'ai pas le sentiment d'être plus laid qu'avant.	0
	J'ai peur de paraître vieux ou disgracieux.	1
	J'ai l'impression qu'il y a un changement permanent dans mon apparence physique, qui me fait paraître disgracieux.	2
	J'ai l'impression d'être laid et repoussant.	3
K	Je travaille aussi facilement qu'auparavant.	0
	Il me faut faire un effort supplémentaire pour commencer à faire quelque chose.	1
	Il faut que je fasse un très grand effort pour faire quoi que ce soit.	2
	Je suis incapable de faire le moindre travail.	3
L	Je ne suis pas plus fatigué que d'habitude.	0
	Je suis fatigué plus facilement que d'habitude.	1
	Faire quoi que ce soit me fatigue.	2
	Je suis incapable de faire le moindre travail.	3
M	Mon appétit est toujours aussi bon.	0
	Mon appétit n'est pas aussi bon que d'habitude.	1
	Mon appétit est beaucoup moins bon maintenant.	2
	Je n'ai plus du tout d'appétit.	3

QUESTIONNAIRE ABRÉGÉ DE BECK (BDI)

- Mode de passation : il s'agit d'une échelle d'autoévaluation. Il est demandé au sujet de remplir le questionnaire en entourant le numéro qui correspond à la proposition choisie. Il peut entourer, dans une série, plusieurs numéros si plusieurs propositions conviennent (59).
 - Cotation : chaque item est constitué de 4 phrases correspondant à 4 degrés d'intensité croissante d'un symptôme : de 0 à 3. Dans le dépouillement, il faut tenir compte de la cote la plus forte choisie pour une même série. La note globale est obtenue en additionnant les scores des 13 items. L'étendue de l'échelle va de 0 à 39. Plus la note est élevée plus le sujet est déprimé (59).
 - Intérêt-Limites : [...] il permet d'alerter le clinicien qui utilise les différents seuils de gravité retenus par Beck et Beamesderfer :
 - 0-4 : pas de dépression ;
 - 4-7 : dépression légère ;
 - 8-15 : dépression modérée ;
 - 16 et plus : dépression sévère.
- Cependant son pouvoir de discrimination de l'intensité de la dépression est discuté
La présentation de ce questionnaire a été extraite de l'ouvrage de JD Guelfi.

ANNEXE D - Echantillon d'images utilisées lors des expériences



ANNEXE E – Pré-test comportemental

Ce pré-test a fait suite à d'autres pré-tests comportementaux consistant en l'évaluation de scènes naturelles sur la dimension de valence, activation et tendance à l'action. Ce pré-test avait pour objectif de constituer une base de données dans laquelle les stimuli des différentes études ont été sélectionnés. Les images de scènes naturelles, 420 au total, ont été sélectionnées à partir de plusieurs banques de données : à savoir l'« International Affective Picture System » (IAPS) (Lang, Bradley, & Cuthbert, 1997), des banques d'images (libres de droits) proposées par des sites internet, et des images personnelles. Les images ont été choisies de façon à impliquer l'observateur dans la situation. Trente-quatre volontaires (20 femmes et 14 hommes, $22.7 \text{ ans} \pm 1.2 \text{ ans}$) ont évalué les images selon le protocole décrit dans la figure 47

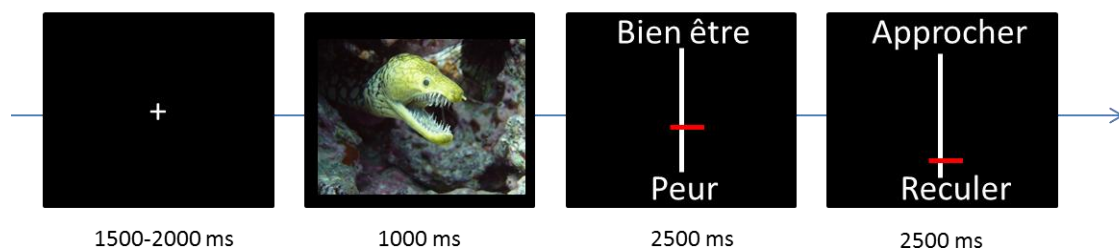


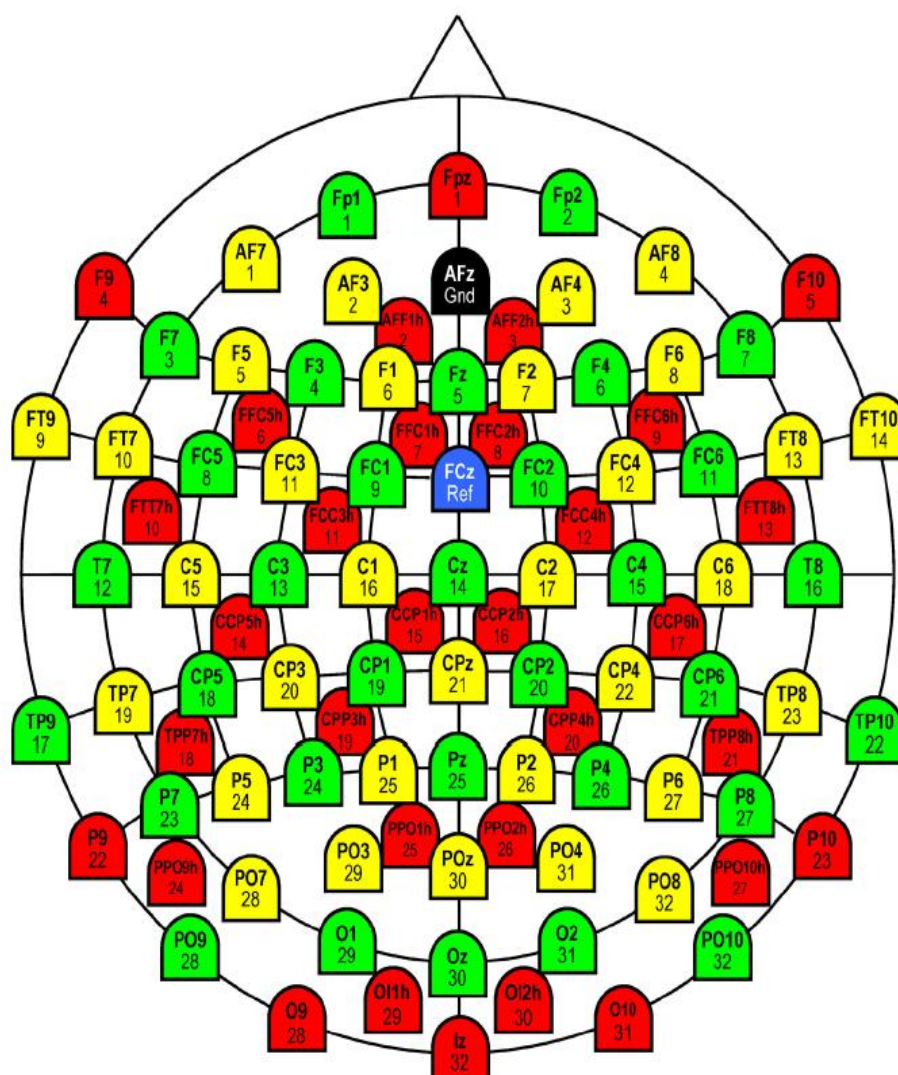
Figure 48 : Schéma du protocole expérimental d'évaluation des images.

Suite à une croix de fixation, chaque image était présentée 1 seconde puis le participant devait reporter son ressenti en deux temps à l'aide d'un joystick. Une première échelle continue lui permettait de définir l'émotion ressentie et son niveau d'activation par le sens du joystick et la position du curseur allant de bien-être à peur. Il est important de préciser que nous avons fait le choix d'une échelle mélangeant activation et valence pour plusieurs raisons. Lors des premiers pré-tests comportementaux, une corrélation supérieure à .85 était relevée pour ces catégories d'images entre des échelles séparées de valence et niveau d'activation de type SAM (Self Assessment Manikin, voir figure 4). D'autres auteurs avaient déjà montré qu'il était particulièrement difficile de dissocier valence et activation (Lang et al., 1998). Ceci est d'autant plus le cas pour les stimuli menaçants que nous avons utilisé dans cette thèse notamment. Compte tenu des corrélations fortes mesurées dans les pré-tests précédents, nous avons donc fait le choix de mixer ces deux dimensions sur une même échelle continue (par la consigne donnée au sujet) dans la dernière réévaluation des images afin d'écourter le temps de

passation des sujets. Pour cela, nous avons donné aux participants la consigne suivante: « vous devez indiquer à travers cette échelle si vous ressentez une émotion de peur pour votre intégrité physique ou de bien-être, le joystick vous permettant de reporter l'intensité des sensations et état corporel provoqué par cette émotion (« très excité ou pas du tout excité »).

La seconde échelle du pré-test permettait au participant de donner sa « tendance à l'action » en termes d'envie d'approcher ou de s'éloigner/d'éviter, les graduations permettant de reporter l'intensité de cette envie.

ANNEXE F - Position des électrodes sur le scalp pour un casque Acticap



Extrait de brainproduct.com

ANNEXE G - Tableau des taux de classifications pour les 5 conditions binaires en fonction du nombre d'électrodes virtuelles pour chaque sujet

Tableau 15 : Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre d'électrodes virtuelles conservées pour les sujets jeunes

Conf.	Sujet	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12
C1	1 EV	79%	56%	61%	60%	72%	62%	79%	76%	68%	68%	66%	70%
	2 EV	78%	58%	58%	62%	70%	63%	81%	79%	72%	71%	71%	68%
	3 EV	81%	59%	62%	62%	74%	64%	79%	79%	73%	70%	69%	66%
	4 EV	81%	59%	67%	63%	72%	61%	79%	81%	68%	71%	69%	63%
	5 EV	81%	60%	67%	64%	72%	62%	78%	82%	70%	70%	71%	67%
C2	1 EV	68%	51%	53%	55%	49%	58%	52%	58%	48%	48%	66%	53%
	2 EV	67%	52%	53%	55%	49%	57%	59%	61%	49%	51%	63%	54%
	3 EV	66%	56%	50%	58%	51%	59%	60%	62%	54%	51%	68%	58%
	4 EV	66%	54%	53%	58%	49%	61%	56%	62%	50%	57%	69%	55%
	5 EV	64%	55%	52%	57%	50%	61%	65%	63%	53%	58%	67%	58%
C3	1 EV	92%	78%	82%	88%	100%	92%	90%	92%	93%	88%	80%	72%
	2 EV	88%	75%	77%	87%	100%	88%	75%	92%	92%	90%	82%	70%
	3 EV	88%	73%	77%	87%	100%	87%	63%	92%	90%	88%	83%	72%
	4 EV	88%	72%	78%	87%	100%	88%	67%	90%	85%	87%	80%	68%
	5 EV	92%	73%	75%	87%	100%	88%	62%	87%	87%	85%	80%	72%
C4	1 EV	66%	52%	66%	58%	58%	52%	54%	67%	57%	67%	69%	57%
	2 EV	63%	57%	67%	57%	62%	51%	62%	61%	63%	60%	70%	57%
	3 EV	60%	59%	70%	60%	62%	50%	63%	66%	59%	57%	67%	56%
	4 EV	59%	57%	70%	59%	61%	51%	67%	69%	62%	62%	74%	56%
	5 EV	59%	60%	70%	60%	61%	54%	68%	64%	62%	66%	69%	54%
C5	1 EV	57%	39%	49%	53%	37%	41%	53%	55%	56%	48%	44%	46%
	2 EV	60%	49%	50%	53%	49%	43%	58%	53%	58%	48%	57%	52%
	3 EV	58%	51%	50%	55%	50%	44%	61%	58%	55%	49%	53%	51%
	4 EV	58%	51%	53%	53%	48%	43%	61%	57%	63%	50%	63%	52%
	5 EV	53%	51%	48%	55%	47%	45%	60%	56%	59%	48%	60%	55%

Tableau 16 : Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre d'électrodes virtuelles conservées pour les sujets âgés

Conf.	Sujet	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
C1	1 EV	64%	77%	61%	59%	67%	71%	61%	61%	63%	60%	60%	46%	64%	64%
	2 EV	66%	82%	58%	58%	68%	70%	62%	67%	69%	61%	70%	52%	69%	71%
	3 EV	67%	82%	67%	57%	67%	63%	67%	67%	67%	62%	68%	53%	69%	67%
	4 EV	68%	86%	64%	59%	68%	69%	74%	67%	71%	59%	71%	54%	67%	66%
	5 EV	72%	88%	66%	60%	64%	63%	76%	68%	70%	69%	70%	56%	68%	63%
C2	1 EV	49%	51%	49%	50%	48%	49%	54%	46%	54%	60%	50%	43%	58%	44%
	2 EV	49%	48%	48%	50%	46%	54%	55%	47%	55%	64%	54%	44%	62%	51%
	3 EV	49%	57%	48%	51%	45%	57%	57%	51%	57%	67%	54%	48%	65%	48%
	4 EV	48%	56%	49%	52%	46%	57%	61%	51%	59%	67%	58%	51%	66%	52%
	5 EV	53%	58%	52%	48%	48%	57%	61%	53%	58%	67%	61%	51%	65%	55%
C3	1 EV	78%	93%	63%	57%	92%	85%	87%	77%	78%	88%	78%	92%	95%	97%
	2 EV	82%	95%	55%	60%	85%	82%	85%	80%	78%	87%	75%	92%	92%	93%
	3 EV	78%	93%	60%	57%	85%	80%	83%	78%	75%	85%	73%	92%	93%	78%
	4 EV	80%	87%	63%	57%	87%	80%	82%	78%	78%	83%	68%	92%	95%	88%
	5 EV	85%	83%	60%	58%	83%	78%	83%	75%	77%	82%	65%	92%	92%	83%
C4	1 EV	56%	57%	52%	53%	59%	58%	54%	58%	50%	63%	49%	68%	69%	61%
	2 EV	58%	60%	52%	57%	56%	60%	60%	63%	47%	67%	52%	66%	70%	68%
	3 EV	61%	62%	54%	53%	59%	61%	56%	61%	52%	76%	51%	61%	72%	69%
	4 EV	62%	61%	54%	66%	60%	58%	54%	60%	53%	70%	54%	63%	70%	64%
	5 EV	62%	61%	54%	67%	60%	60%	59%	60%	54%	64%	56%	66%	71%	61%
C5	1 EV	42%	53%	48%	43%	46%	46%	43%	37%	41%	46%	38%	53%	49%	43%
	2 EV	46%	54%	48%	48%	42%	48%	44%	39%	48%	53%	46%	56%	56%	52%
	3 EV	44%	58%	46%	49%	43%	45%	48%	45%	48%	57%	46%	57%	57%	57%
	4 EV	48%	58%	44%	55%	48%	44%	48%	45%	53%	58%	45%	55%	57%	62%
	5 EV	51%	57%	46%	53%	48%	46%	51%	45%	53%	58%	43%	55%	56%	59%

ANNEXE H - Tableau des taux de classifications de chaque sujet pour les 5 conditions en fonction des plages temporelles

Tableau 17: Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre de plages temporelles conservées pour les sujets jeunes

Conf.	Sujet	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12
C1	1 plage	69%	51%	64%	54%	58%	67%	58%	59%	69%	56%	60%	57%
	2 plages	71%	57%	60%	56%	63%	64%	69%	60%	67%	57%	63%	61%
	3 plages	81%	57%	63%	60%	68%	66%	78%	77%	68%	63%	67%	62%
	4 plages	81%	60%	67%	64%	72%	62%	78%	82%	70%	70%	71%	67%
	LPP	81%	59%	64%	69%	70%	60%	79%	68%	64%	69%	67%	71%
C2	1 plage	52%	43%	49%	42%	55%	56%	46%	53%	53%	48%	50%	56%
	2 plages	56%	53%	51%	52%	44%	59%	62%	62%	54%	56%	51%	55%
	3 plages	57%	56%	55%	58%	53%	62%	63%	64%	54%	53%	59%	55%
	4 plages	64%	55%	52%	57%	50%	61%	65%	63%	53%	58%	67%	58%
	LPP	69%	52%	52%	57%	48%	52%	54%	53%	51%	51%	66%	54%
C3	1 plage	60%	55%	57%	48%	60%	60%	47%	48%	68%	58%	55%	53%
	2 plages	67%	60%	68%	68%	85%	55%	37%	62%	75%	60%	57%	58%
	3 plages	78%	65%	72%	73%	97%	60%	43%	75%	83%	73%	67%	60%
	4 plages	92%	73%	75%	87%	100%	88%	62%	87%	87%	85%	80%	72%
	LPP	92%	85%	87%	88%	100%	92%	90%	87%	93%	90%	85%	72%
C4	1 plage	54%	62%	58%	56%	62%	52%	59%	64%	61%	70%	56%	48%
	2 plages	57%	60%	56%	63%	66%	59%	62%	59%	60%	64%	62%	50%
	3 plages	57%	60%	68%	61%	62%	58%	57%	60%	59%	61%	67%	51%
	4 plages	59%	60%	70%	60%	61%	54%	68%	64%	62%	66%	69%	54%
	LPP	67%	49%	59%	56%	63%	52%	58%	69%	62%	63%	68%	57%
C5	1 plage	53%	53%	48%	55%	60%	48%	56%	53%	60%	56%	49%	46%
	2 plages	56%	52%	51%	53%	55%	50%	66%	53%	53%	53%	56%	48%
	3 plages	55%	53%	48%	56%	48%	49%	63%	50%	54%	46%	58%	51%
	4 plages	53%	51%	48%	55%	47%	45%	60%	56%	59%	48%	60%	55%
	LPP	53%	46%	46%	48%	38%	40%	51%	61%	52%	44%	48%	46%

Tableau 18: Taux de classification pour chaque classifieur binaire en fonction du nombre de plages temporelles conservées pour les sujets âgés

Sujet		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
C1	1 plage	54%	74%	56%	56%	54%	53%	64%	59%	58%	49%	59%	59%	60%	48%
	2 plages	56%	78%	68%	52%	69%	53%	69%	58%	70%	59%	67%	59%	69%	61%
	3 plages	60%	78%	64%	59%	70%	59%	73%	61%	71%	61%	70%	58%	69%	63%
	4 plages	72%	88%	66%	60%	64%	63%	76%	68%	70%	69%	70%	56%	68%	63%
	LPP	71%	77%	62%	61%	67%	77%	64%	60%	62%	60%	74%	51%	61%	63%
C2	1 plage	44%	57%	50%	48%	47%	49%	51%	51%	55%	49%	55%	53%	51%	57%
	2 plages	52%	56%	55%	51%	48%	49%	61%	48%	58%	55%	57%	48%	52%	59%
	3 plages	48%	54%	55%	46%	45%	49%	58%	56%	55%	62%	58%	52%	58%	57%
	4 plages	53%	58%	52%	48%	48%	57%	61%	53%	58%	67%	61%	51%	65%	55%
	LPP	54%	51%	48%	51%	52%	55%	52%	47%	56%	64%	52%	42%	64%	42%
C3	1 plage	58%	57%	57%	57%	65%	47%	65%	52%	55%	50%	58%	45%	68%	68%
	2 plages	63%	62%	58%	50%	68%	60%	70%	62%	62%	57%	63%	62%	67%	63%
	3 plages	77%	67%	58%	52%	75%	60%	63%	70%	68%	63%	48%	68%	77%	68%
	4 plages	85%	83%	60%	58%	83%	78%	83%	75%	77%	82%	65%	92%	92%	83%
	LPP	78%	93%	63%	62%	93%	85%	92%	78%	75%	92%	72%	95%	93%	97%
C4	1 plage	63%	60%	56%	61%	62%	56%	57%	58%	58%	54%	51%	50%	67%	66%
	2 plages	62%	56%	58%	56%	61%	58%	58%	63%	57%	61%	56%	54%	76%	67%
	3 plages	62%	64%	52%	61%	63%	58%	62%	60%	56%	59%	59%	53%	68%	67%
	4 plages	62%	61%	54%	67%	60%	60%	59%	60%	54%	64%	56%	66%	71%	61%
	LPP	58%	66%	56%	61%	58%	56%	52%	44%	52%	68%	54%	72%	68%	66%
C5	1 plage	53%	55%	44%	58%	53%	48%	51%	52%	58%	54%	52%	53%	59%	62%
	2 plages	55%	53%	40%	56%	53%	49%	49%	60%	53%	58%	52%	53%	63%	59%
	3 plages	48%	51%	46%	51%	50%	48%	52%	51%	52%	53%	51%	55%	61%	63%
	4 plages	51%	57%	46%	53%	48%	46%	51%	45%	53%	58%	43%	55%	56%	59%
	LPP	46%	54%	45%	47%	43%	50%	53%	38%	43%	44%	43%	53%	48%	43%

Curriculum Vitae

**PhD Student in Cognitive
Neurosciences**

Emotion, Aging, Visual Attention, EEG, brain signals classification

Education

Present Position- 2013-2010

- **PhD Student in Cognitive Neurosciences**, Laboratoire de Psychologie et Neurocognition, Grenoble, France.

Research Topic : « *Neurocognitive processing of emotion in healthy aging: study of the “positivity effect” and associated vulnerability* »

2009-2010

- **Master 2 Research in Cognitive Sciences**, LPNC, Grenoble, France.

Research Topic : « *Influences of the ecology of the movement in visual emotional treatment, using Video Game Players.* »

2003-2008

- **Engineer from ENSGSI** (Ecole Nationale Supérieure des Génies en Systèmes Industriels, Nancy, France)

Specializing in: *Project Management, innovation, Organization*

2002-2003

- **Baccalauréat Scientifique** (Lycée J. Marquette, Pont-à-Mousson France) with mention

Publications

Articles

- **Mathieu, N.G.**, Campagne, A., Gentaz, E., Guillemaud, R., Ida, M., Bonnet, S., (2013) Single-trial ERP classification of emotional processing. Single-trial ERP classification of emotional processing. *IEEE – EMBS The 6th international conference on Neural Engineering, 6th-8th November 2013*. pp 1-4, *San Diego, CA, USA*.
- **Mathieu, N. G.**, Gentaz, E., Harquel, S., Vercueil, L., Bonnet, S., Guillemaud, R., Ida, M., Campagne, A. Brain processing of emotional scenes with age: Effect of arousal context. (Submitted)
- **Mathieu, N. G.**, Gentaz, E., Harquel, S., Vercueil, L., Bonnet, S., Guillemaud, R., Ida, M., Campagne, A. Contextual positivity effect in aging is task goal dependent (In Preparation).
- **Mathieu, N. G.**, Gentaz, E., Harquel, S., Vercueil, L., Bonnet, S., Guillemaud, R., Ida, M., Campagne, A., Emotionnal attention orientation in aging in a context of competition between paired natural scenes pictures. (in Preparation)

Proceedings

- Campagne, A., **Mathieu, N.**, Fradcourt, B. (2011). Effects of cognitive appraisal and action modality on emotional processing of information: an ERP study in video game players. *A Supplement of the Journal of Cognitive Neuroscience, 2011 Annual meeting program*, p 118.

Communication

Talk - Conference

- **Mathieu, N.**, Roy, R., Campagne, A. & Bonnet, S. (2012). Interfaces cerveau-machine passives : apports mutuels entre neurosciences cognitives et ingénierie. *Journée du Pôle Grenoble Cognition, mai 2012*.

Poster

- **Mathieu, N.G.**, Gentaz, E., Harquel, N., Campagne, A., (2013). Effect of the context and tasks goal on the positivity effect in aging. *International Society of Emotion Research meeting 2nd-6th August, Berkeley, CA, USA, 2013*

Teaching	<ul style="list-style-type: none"> • Mathieu, N. G., Harquel, S., Vercueil, L., Bonnet, S., Gentaz, E., Campagne, A. (2013) Brain processing of emotional scenes with age: Effect of arousal and affective context. 11^e colloque de la Société des neurosciences, 21-24 Mai. Lyon, France • Campagne, A., Mathieu, N., Fradcourt, B. (2011). Effects of cognitive appraisal and action modality on emotional processing of information: an ERP study in video game players. <i>Journal of Cognitive Neuroscience</i>, San Francisco, CA, USA, 2011
Content	<ul style="list-style-type: none"> • Statistics for psychology, Methods, Experimental Methods (3 years, 192 hours)
Public	<ul style="list-style-type: none"> • 1st year Licence and 1st year Master degree students
Skills	
Neuroimaging	<ul style="list-style-type: none"> • EEG: Experimental installation and recordings, data treatment and analysis, classifiers, Neuropsychological tests, statistics.
Computer	<ul style="list-style-type: none"> • Programming: Matlab, Basic, Visual Basic for Excel, C. • Software : Brain Analyzer, Matlab, SPM, Fieldtrip, Statistica, E-Prime, Photoshop, Adobe Première, Ms project
Language	<ul style="list-style-type: none"> • English: good skills • German: Scholar level
Work Experiences	
Mars – Sept. 2008	<ul style="list-style-type: none"> • Final Engineer Internship – Project Manager – EDF, Thermic center of electricity production, Blénod (France) <i>Responsibility: Optimization of the maintenance parts stock.</i>
2006-2007	<ul style="list-style-type: none"> • Industrial innovation – Project EDF R&D (8 months – 1 day/week – 4 pers.) <i>Study on an intranet platform for help to innovation.</i>
2005-2006	<ul style="list-style-type: none"> • Industrial organization project – SNCF (8 months – 1 day/week – 4 pers.) <i>Improvement of the maintenance facilities.</i>
July 2005	<ul style="list-style-type: none"> • Worker on Numeric machine-tools – EST MECANIQUE – metal pieces production chain.
Other Activities	
	<ul style="list-style-type: none"> • Representative to the Graduate School EDISCE. • Co-organizer of the “Doc’ en boite” monthly meeting about work after a thesis. Debate and discussions between a guest and PhD students • Participation to “La fête de la science” : exhibition about « Brain & Emotions », discussions with the public
References	
	<ul style="list-style-type: none"> • Edouard Gentaz (DR, LPNC): edouard.gentaz@upmf-grenoble.fr • Aurélie Campagne (PhD, LPNC): +33 (0)4 56 52 85 08 ; aurelie.campagne@upmf-grenoble.fr • Stephane Bonnet (PhD,CEA): +33 (0)4 38 78 40 70 ; stephane.bonnet@cea.fr

Résumé

Dans le vieillissement « sain », la préférence pour les stimuli positifs augmente par rapport aux stimuli négatifs. Ce phénomène est appelé « effet de positivité » et peut être observé au niveau comportemental et cérébral. L'objectif principal de cette thèse a été de caractériser les effets de l'âge sur les traitements émotionnels afin d'améliorer notre compréhension des effets de positivité. L'objectif sous-jacent a été d'évaluer dans quelles conditions ces effets peuvent conduire à une plus grande vulnérabilité des personnes âgées face à des situations menaçantes. Une première étude en électroencéphalographie a révélé que l'engagement attentionnel pour des scènes naturelles négatives diminue avec l'âge quel que soit leur niveau d'activation dans une tâche de catégorisation affective. À l'inverse, ce dernier reste inchangé pour les situations positives, conduisant à une réduction des biais de négativité. Une deuxième étude en électroencéphalographie, dont le paradigme était similaire à la première étude, a mis en évidence que les biais de négativité restent préservés avec l'âge lorsque l'évaluation des scènes s'effectue sur la dimension de « tendance à l'action ». Une troisième étude révèle que l'attention volontaire sur les situations d'intérêt des personnes âgées (positives) et sur les processus d'évaluation modulés par l'âge est nécessaire à l'émergence des effets de positivité. Parallèlement à ces travaux, une méthodologie innovante est proposée pour la classification d'états émotionnels des personnes jeunes et âgées sur la base de leurs signaux électroencéphalographiques. Nous avons obtenu des résultats encourageants qui suggèrent la possibilité cette méthode pour implémenter des interfaces cerveau-machine pour protéger les personnes âgées d'une éventuelle vulnérabilité en raison des effets de positivité. L'ensemble de ces travaux suggèrent que les effets de positivité sont les conséquences de changements sur le plan motivationnel de l'individu âgé, touchant principalement les processus d'évaluation émotionnel. La personne âgée régulerait ses émotions et diminuerait l'impact des émotions négatives lorsque d'autres motivations plus prioritaires sont absentes.

Mots clés : Vieillissement, émotion, effet de positivité, attention, EEG, classification

Abstract

With aging, the preference for positive stimuli increases compared to negative stimuli. This is called “positivity effect” and it may be observed in both behavior and brain activity. The main goal of this work was to characterized age effects on emotional processing to improve our understood of this positivity effect. The second goal was to evaluate in which conditions these effects could make older people more vulnerable when they are confronted to threatening situations. A first EEG study revealed that the attentional engagement decreased with age for negative stimuli, regardless of their activation level, in an affective categorization task. Conversely, the processing of positive stimuli was preserved with age and, consequently, a reduction of the negativity bias was observed. In a second EEG study, using a similar paradigm to study 1 with the exception of the task which was an “action tendency task”, we observed a preservation of the negativity bias. A third study revealed that the voluntary attention on interest situations for aged adults (positive) and on appraisal process modulated with age was requisite to observe positivity effects. Parallel to this work, a new method was proposed to recognize and classify emotional states based on EEG signals. We obtained encouraging results which suggest the possibility to use this method to elaborate brain-computer interfaces to protect old people against a potential vulnerability due to positivity effect. Taken together, these results demonstrate that positivity effect is due to motivational shifts with age. Older people would be motivated to increase their well-being and would regulate their emotions by reducing the impact of negative stimuli, provided no other more important motivations are absent.

Keywords: Aging, emotion, positivity effect, attention, EEG, emotion recognition